Gesetzmässigkeiten

bei der

Phosphorsäureernährung der Pflanze

Von

M. von Wrangell
Privatdozentin an der Landwirtschaftlichen Hochschule in Hohenheim.



Mit 2 Tafeln.

BERLIN.
VERLAGSBUCHHANDLUNG PAUL PAREY.

Sonder-Abdruck aus: Landwirtschaftliche Jahrbücher Band 57.

Inhaltsverzeichnis.

I. Allgemeiner Teil.

Die Hohenheimer Vegetationsversuche beschäftigen sich mit der Frage der Verwertung verschiedener Phosphate durch verschiedene Pflanzen unter den verschiedensten Bedingungen.

Es wurde begonnen mit der Prüfung der Wirkung eines mineralischen Rohphosphats, des estländischen Obolensandsteins, auf verschiedene Pflanzen[1]). Es konnte konstatiert werden, daß im Hohenheimer Ackerboden durch denselben bei einzelnen Pflanzen so Senf, Buchweizen, Rüben unter Umständen gleiche Ernteerträge zu erzielen waren wie bei Anwendung von Thomasmehl. Andere Pflanzen dagegen, so speziell die Getreidearten, verwerteten das Rohphosphat gar nicht oder nur ganz ungenügend. Es wurden andere Rohphosphate dazugezogen, wobei es sich erwies, daß dieselben von sehr verschiedener Wirkung waren. Ein kristalliner norwegischer Fluor-Apatit blieb wirkungslos, dagegen wurden kohlensäurehaltige Phosphate, sogenannte Karbonatapatite, wie der Staffelit, der Lahnphosphorit, besser ausgenutzt.

Nachdem die ungleiche Wirkung der Rohphosphate auf verschiedene Pflanzen festgestellt war, wurden nun die Bedingungen und der Verlauf der Phosphorsäureaufnahme überhaupt studiert[2]) und es wurden dazu zwei verschiedene Pflanzen, der Mais und der Senf, bei verschiedener Reaktion der Bodenflüssigkeit und des Bodens geprüft, und zwar bei neutraler, alkalischer, mineralisch- und organischsaurer Reaktion, zugleich wurde der Einfluß von kohlensaurem Kalk auf diese Kombinationen geprüft und die Reaktion des Bodens während der ganzen Versuchsdauer kontrolliert.

Es gelang nachzuweisen, daß der Mais und Senf sich grundsätzlich verschieden den schwerlöslichen Kalkphosphaten (also Rohphosphaten oder reinem Trikalziumphosphat) gegenüber verhalten. Der Mais verwertet dieselben nur mit Hilfe saurer Reaktion, Zugabe von Kalk hebt die Wirkung der sauren Reaktion und damit auch die Phosphorsäureaufnahme vollständig auf.

Der Senf dagegen kann die Phosphorsäure aus schwerlöslichen Kalk-

phosphaten auch bei mehr alkalischer Reaktion verwerten. Er ist dabei verhältnismäßig unabhängig von Kalkzugabe alkalischer resp. saurer Reaktion, soweit dieselben nicht eine solche Stärke erreichen, daß direkte physiologische Schädigungen eintreten.

Der Mais nimmt Kalk zu Phosphorsäure etwa in einem Verhältnis von 2—3 Molekülen Kalk (CaO) zu 1 Moleküle Phosphorsäure (P_2O_5) auf. Der Senf verbraucht bei etwa gleichem Phosphorsäurekonsum 15 Moleküle Kalk. Es ist deshalb auch schon theoretisch verständlich, daß das Trikalziumphosphat von Pflanzen, welche mehr Phosphorsäure im Verhältnis zu Kalk zu ihrer Ernährung brauchen als in reinem Trikalziumphosphat enthalten ist, nur unvollkommen ausgenutzt werden kann, besonders aber wenn noch andere und vielleicht leichter lösliche alkalische oder physiologisch alkalische Kalksalze zugegen sind. Den Senf bei seinem enormen Kalkkonsum stört die Gegenwart anderer Kalkionen weniger bei der Verwertung des Trikalziumphosphats. Beide Pflanzen rufen demnach in ursprünglich neutralem Boden nach beendetem Wachstum eine verschiedene Reaktion hervor.

Es erschien demnach wahrscheinlich, daß der Kalkphosphorsäurefaktor (d. h. das Verhältnis der Moleküle CaO : Molekülen P_2O_5 in der Pflanzenasche) einen Rückschluß gestattet, 1. auf die Fähigkeit der Pflanzen schwerlösliche Kalkphosphate zu verwerten, 2. einen Hinweis gibt auf die Bedingungen im Boden, unter welchen die Phosphorsäureaufnahme verlief, also Bodenreaktion, Verhältnis Kalk zu Phosphorsäure, Grad der Wirksamkeit dieser Stoffe usw.

1. Wirkung verschiedener Rohphosphate auf verschiedene Pflanzen.

Es wurde eine ganze Reihe von Kulturpflanzen auf ihre Fähigkeit geprüft, schwerlösliche Kalkphosphate zu verwerten, wobei sich die theoretische Vermutung bestätigt fand, daß der Kalkphosphorsäurefaktor dabei eine Rolle spielt. Er ist in Klammern bei Aufzählung der einzelnen Pflanzen hinzugefügt, soweit er wenigstens annähernd aus den Wolfschen Aschenanalysen zu entnehmen ist. Erneute Analysen unter Berücksichtigung der Bedingungen, unter welchen die Pflanzen gewachsen sind, also speziell Bodenreaktion, Gegenwart resp. Abwesenheit von Kalk, Verhältnis der Nährstoffe zu einander usw., erscheinen notwendig und wertvoll.

Am schlechtesten werden die Kalkphosphate von den Getreidearten verwertet, besonders schlecht von Weizen, Roggen (Kalkphosphorsäurefaktor: 1,3), Gerste, etwas besser von Hafer (1,6), Mais (3). Es folgt die Kartoffel[1]); etwas besser verwerten schon die Leguminosen, Bohnen Erbsen, Wicken (zirka 7) die Kalkphosphate; gut die Kleearten (12), sehr gut die Rüben, Futter- und Zuckerrüben, ebenso Hanf (23), Tabak, Raps, Senf (15) und Buchweizen (17).

Die meisten Resultate der Vegetationsversuche mit Rohphosphaten, besonders mit Obolensandstein, sind in der früher erwähnten Arbeit veröffentlicht worden. Anordnung, Ernteerträge und Ascheanalysen der neu angestellten Vegetationsversuche finden sich am Schluß dieser Arbeit, Seite 52—59 und Tabelle 1—8, zusammengestellt.

Eine ausführliche Beschreibung der in diesem Jahre angestellten Feldversuche soll demnächst veröffentlicht werden. Soweit sich diese Resultate übersehen lassen, so hat auch bei den Feldversuchen der Obolensandstein verschieden auf die einzelnen Kulturpflanzen gewirkt. So ist er bei einem Versuch mit Hafer ohne Wirkung geblieben, bei Kartoffeln hat er den Ertrag gehoben, ohne indessen die Wirkung von löslichen Phosphaten zu erreichen, bei Rüben hat er die gleichen Mehrerträge wie Thomasmehl bewirkt.

Pfeiffer und Rippel geben in ihrer letzten Arbeit[1]) bei ihren Ernteerträgen auch die Werte für den Kalkphosphorsäurefaktor an, wozu sie bemerken: „Richtiger würde es sein, das Verhältnis $3\,CaO:P_2O_5$ anzugeben, wir haben uns jedoch, um den Vergleich nicht zu stören, dem Wrangellschen Vorschlage angeschlossen.“ Ich möchte hierzu bemerken, daß von „richtiger“ oder „falsch“ meines Erachtens hier überhaupt nicht die Rede sein kann, sondern von mehr oder weniger zweckmäßig. Jedem dürfte bekannt sein, daß der Kalk zweiwertig, die Gruppe P_2O_5 sechswertig ist. Ebenso bekannt ist es und das ist für den Zweck dieser Berechnungen wesentlich, daß je nach dem wir es mit primären, sekundären oder tertiären Salzen zu tun haben, Kalk und Phosphorsäure in verschiedenem Verhältnis in ihren Verbindungen anzutreffen sind. Wie 1:1 im Monokalziumphosphat, wie 2:1 im Dikalziumphosphat, wie 3:1 im Trikalziumphosphat. Gerade diese drei Möglichkeiten interessieren uns bei den Ascheanalysen und beim Nährstoffverbrauch mehr als die nicht wechselnde Wertigkeit. Ich habe deshalb die in der organischen Chemie allgemein geübte Methode benutzt, bei der Berechnung des Stoffverhältnisses Gruppen zu wählen, mit deren Existenz wir gewöhnt sind zu rechnen, unabhängig von der Wertigkeit dieser Gruppen. Ich hätte gewiß mit ebensoviel Fug und Recht als Einheit $Ca^{\cdot\cdot}$-Ionen resp. PO_4'''-Ionen wählen können, doch sprachen Zweckmäßigkeitsgründe dagegen, nämlich der Umstand, daß sämtliche Asche- und Düngemittelanalysen in Literatur und Praxis auf P_2O_5 und CaO lauten, wir uns also bei Heranziehung von Analysenresultaten durch die Umrechnungen auf Ca und PO_4-Ionen eine ganz unnötige Arbeit gemacht hätten. Ich halte aus diesen zwei Gründen die von mir gewählte Art der Berechnung für übersichtlich und zeitsparend.

Ich gehe hier kurz auf die Arbeit der genannten Herren ein. Sie bringt keine wesentlich neuen Gesichtspunkte, liefert aber m. E. in ihrem Analysenmaterial sehr hübsch...

säureernährung der Kalkphosphorsäurefaktor in gesetzmäßiger Weise sinkt. Da Pfeiffer in der Grunddüngung noch 1,5 g kohlensauren Kalk gegeben hat und der von ihm verwandte Glassand wahrscheinlich auch nicht absolut kalkfrei war, so hatte jede Steigerung der Dikalziumphosphat- resp. Obolensandsteingabe eine Verschiebung des Verhältnisses Kalk zu Phosphorsäure im Boden zugunsten der Phosphorsäure zur Folge. Dieses kommt beim Kalkphosphorsäurefaktor in der Pflanzenasche sehr schön zum Ausdruck (Journal für Landw. Tab. 8 S. 180).

	Differenz-Düngung [1] P_2O_5	CaO: P_2O_5				
		Gerste	Hafer	Bohnen	Buchweizen	Senf
Dikalzium-phosphat	0	21,0	12,7	11,5	(40,0)	23,0
	0,1—0,125	12,3	5,0	10,1	11,1	17,7
	0,3—0,375	5,3	4,8	6,6	3,1	20,2
	0,6—0,75	3,3	5,8	5,3	1,7	11,2
	1—1,25	2,7	3,8	4,7	1,3	12,8
Obolen-sand-stein	0,3—0,375	15,6	7,6	10,9	19,7	26,7
	0,9—1,125	20,7	4,8	9,4	12,5	23,0
	1,8—2,25	13,7	4,0	8,7	6,6	19,4

Die Tabelle zeigt zugleich, wie die einzelnen Pflanzenarten je nach ihrer Kalkfeindlichkeit in verschiedener Weise auf eine Verschiebung des Verhältnisses Kalk zu Phosphorsäure in der Düngung reagieren. Die kalkfeindlichen Getreidearten zeigen den schnellsten Abfall des Faktors bei steigender P_2O_5-Düngung und endlich die größten Latitüden, die Gerste, deren Kalkphosphorsäurefaktor Wolfs Ascheanalysen zufolge unter 2 liegen soll, zeigt in der Pfeifferschen Tabelle bei ungenügender Phosphorsäureernährung den Faktor 21, also das zehnfache des normalen, bei Hafer steigt er aufs etwa vierfache.

2. Wirkung der Bodenreaktion auf die Phosphorsäureernährung.

Eine sehr bedeutsame Rolle für das Tempo und das Maß der Phosphorsäureaufnahme spielt die Bodenreaktion. Wie schon früher gezeigt werden konnte, wird bei saurer Bodenreaktion die Phosphorsäureaufnahme erleichtert und beschleunigt, der Phosphorsäuregehalt einer in saurem Boden gewachsenen Pflanze ist beträchtlich höher. Umgekehrt liegen die Verhältnisse bei der Kalkaufnahme, diese wird durch alkalische Reaktion erhöht.

In einer früheren Arbeit stellte ich die Vermutung auf, daß beim Eintritt einer bestimmten Bodenreaktion gewissermaßen eine chemische Nötigung für die Pflanze vorliegt, den einen oder anderen Stoff in erhöhtem Maße aufzunehmen, also eine Neutralisation durch die Wurzelmembran hindurch zu bewerkstelligen. Bei alkalischer Reaktion muß

infolgedessen die Kationenaufnahme bei saurer Bodenreaktion die Anionenaufnahme erhöht werden. Wir können von diesem Gesichtspunkt aus den Ernährungsvorgang als einen elektrolytischen Prozeß ansehen, als ein Wechselspiel der Ionenaufnahme zugleich mit einem ständigen Wechsel der Reaktion an der Kontaktstelle, d. h. der Pflanzenwurzel. Unsere löslichen Düngesalze wirken mit deshalb so stark, weil sie alle Elektrolyte, d. h. Salze aus starken Basen und starken Säuren sind; die im Boden befindlichen natürlichen Nährstoffe wirken in diesem Sinne nicht gleich tempobeschleunigend. Auch Nichtnährstoffe können elektrolytisch-katalysatorisch den Ernährungsprozeß beschleunigen. So wirken, wie in einer früheren Arbeit nachgewiesen werden konnte, sowohl NaOH wie H_2SO_4 wachstumsbeschleunigend. Die Natronlauge kann die Kationen-Aufnahme einleiten und fördern, die Schwefelsäure beschleunigt das Tempo der Anionenaufnahme. Der Kalkphosphorsäurefaktor in der Pflanzenasche spiegelt die Verhältnisse, unter denen die Pflanze aufgewachsen ist, wieder. Früher von mir veröffentlichte Arbeiten ergaben z. B. für Mais bei Düngung mit Trikalziumphosphat 1 % Ca 0: 0,19 P_2O_5, Faktor 13, oder mit Rohphosphat 2,42:0,20, Faktor 30. Bei physiologisch saurer Nebendüngung erhielten wir mit Trikalziumphosphat 0,49 Ca 0:0,25 P_2O_5, Faktor = 5,3, und bei Anwendung von Dikalziumphosphat 0,52 CaO 0:0,55 P_2O_5, Faktor = 2,4. In derselben Richtung lagen die Verhältniszahlen wie wir sie für Senf bei alkalischer resp. saurer Reaktion erhielten. Eingehend werden diese Versuche in einem besonderen Aufsatze behandelt werden, hier sollen nur kurz die Ergebnisse und einige Zahlen angeführt werden.

Um möglichst schlagende Beweise zu bringen, daß tatsächlich eine bestimmte Boden-Reaktion die Kationen resp. Anionenaufnahme in gesetzmäßiger Weise beeinflußt, wurden extreme Fälle konstruiert, Vegetationsbedingungen, wie sie in der Natur nicht oder nur selten vorkommen dürften, die aber dazu dienen sollten, dieser Anschauung drastische Bilder zu liefern. Aus den zahlreichen Versuchen, die in dieser Richtung gemacht wurden, nenne ich als Schulbeispiel einen Versuch mit Hafer und Buchweizen. Die Pflanzen erhielten entweder eine neutrale bis schwach alkalische Nährsalzkombination in Form von Kaliumsilikat, Kaliumnitrat, Ammoniumnitrat und Gips, resp. eine saure in Form von Kaliumsilikat, Ammoniumsulfat, Kaliumsulfat und Gips. Die Phosphorsäure wurde in Form von Trikalziumphosphat resp. Dikalziumphosphat gegeben. Die Pflanzen mit der stark sauren Nebendüngung erkrankten schwer im Verlauf des Wachstums, ihre Ascheanalysen tragen den anormalen Verhältnissen, unter denen sie gewachsen, in charakteristischer Weise Rechnung.

	Neutrale Nebendüngung		Saure Nebendüngung	
	$CaO : P_2O_5$ %	Faktor	$CaO : P_2O_5$ %	Faktor

Die enormen Unterschiede, die man im Verhältnis $CaO:P_2O_5$ durch saure resp. alkalische Reaktion erhält, springen hier in die Augen.

Bis jetzt liegen wenig Beobachtungen vor über das Maß an saurer resp. alkalischer Reaktion, das die verschiedenen Pflanzen vertragen. Die Bestimmung geringer Konzentrationsunterschiede in der Bodenreaktion gehörte bislang noch zu den schwierig auszuführenden und nicht ganz sicheren Untersuchungen, zudem können durch den Ernährungsprozeß ständig Verschiebungen der Reaktion statthaben. Ich habe deshalb einen Vergleich der Säure- und Basenempfindlichkeit resp. Festigkeit verschiedener Kulturpflanzen durch Anwendung von Mischkulturen anzustellen versucht.

In großen in den Erdboden eingelassenen Zementkästen (Inhalt 1.1.0,5 m) wurden in schachbrettartiger systematischer Anordnung 10 verschiedene Arten von Kulturpflanzen gezogen. Der Quarzsand wurde durch genau bestimmte Zugabe von Schwefelsäure oder Natronlauge in verschiedenen Mengen sauer, resp. alkalisch gemacht und die Pflanzen wurden dem Kampf ums Dasein unter dem Einfluß verschiedener Bodenreaktion überlassen. Zur Prüfung derselben während der Zeit des Wachstums wurde folgendes Verfahren eingeschlagen, das sich bis jetzt gut bewährt hat. Zu Anfang des Versuches wurden Glasröhren in den Boden versenkt, und zwar bis zu verschiedenen Tiefen von der Oberfläche zum Boden hin gerechnet. In das in den Boden versenkte Ende wurde Azolithminpapier gesteckt, welches sich auf diese Weise unter Luftabschluß dauernd in Kontakt mit dem feuchten Boden befand und zwar in verschiedener Wurzeltiefe. Dadurch, daß die Röhren sich vom Anfang des Versuches an in dem ihnen zugewiesenen Bette befanden, wurden durch Heraus- resp. Hereinbringen der Röhren keinerlei Wurzelbeschädigungen verursacht, und die Prüfung der Reaktion konnte jeden Augenblick leicht bewerkstelligt werden. Zur qualitativen Feststellung eignet sich die Prüfung mit Azolithminpapier sehr gut; das Azolithminpapier zeigt sehr schwach saure resp. alkalische Reaktion präziser an, als dies z. B. durch die quantitative Methode nach Stutzer möglich wäre; auch die im allgemeinen genauere Methyl-orange Methode steht an Empfindlichkeit der Prüfung mit Azolithminpapier in dieser Anordnung nach. (S. Tabelle S. 7.)

Versuch I leidet unter experimentellen Fehlern, die bei der Anordnung II vermieden wurden,

1) wurden die erwähnten Säure- resp. Basenmengen während des Versuches zugegeben, wobei eine gleichmäßige Verteilung trotz aller Sorgfalt nicht gewährleistet war. Infolgedessen erlitten einzelne Pflanzengruppen gelegentlich erhebliche Schädigungen.

2) Aus dem Zement der Kästen, welche Schwefelsäure erhielten, konnte Kalk herausgelöst werden, dadurch wurde die Schwefelsäure nahe an den Wandungen neutralisiert, was sich deutlich am Stande der Randpflänzchen ausprägte. Di[illegible]se F[illegible]hl[illegible]r[illegible] z[illegible]igen sich [illegible] B. im E[illegible] ge[illegible]en

Nummer		Versuch I										Versuch II					
		Frischgewicht g										Frischgewicht g					
		Roggen	Hafer	Mais	Raps	Buchweizen	Mohn	Esparsette	Lupine	Rotklee	Wicken	Weizen	Gerste	Schweden Klee	Erbse	Hanf	Senf
17	stark alkal. 720 ccm $^{8}/_{10}$ n NaOH=29,04 g	29,0	34,8	104,4	447	168	0	4,0	24,0	0,5	10,0	255	407,7	1,8	14,3	56	14,3
15	alkal. 540 ccm $^{8}/_{10}$ n NaOH=17,28 g	33,0	28,5	82,5	510	—	0	2,7	32,0	1,2	15,5	223	502	2,8	34,5	47,4	16,5
13	schwach alk. 360 ccm $^{8}/_{10}$ n NaOH=11,52 g	36,5	22,2	121,2	367	232	0	4,0	27,0	3,5	22,7	261	533	1,5	22,8	40,2	25,3
11	neutr.-alk. ($CaCO_3$)	71,1	101,5	132,5	239	151	1,9	4,0	35,0	6,0	34,5	264	408,5	0,5	23,5	39,7	9,8
12	neutr.-sauer ($CaSO_4$)	73,2	32,5	—	447	69	0,2	1,0	9,2	4,3	8,8	314,7	296	2,5	30,5	14,8	8,5
14	schwach sauer 220 ccm $^{8}/_{10}$ n H_2SO_4=8,62 g	38,5	8,0	169	457	50	0,1	0,2	7,0	3,3	3,0	252,5	282	2,5	43,0	17,8	—
16	sauer 330 ccm $^{8}/_{10}$ n H_2SO_4=12,93 g	36,7	21,0	159	363	112	0	1,0	0	1,0	0,5	257	174	1,7	27,2	27	0
18	stark sauer 440 ccm $^{8}/_{10}$ n H_2SO_4=17,24 g	?	?	79,5	223	72	0	0,4	3,0	0	0	94,2	140,2	1,0	26,0	20,2	0,2

bestand in dieser Parzelle durch die saure Reaktion vernichtet, resp. auf ein Minimum reduziert wurde, erhielten sich in einer Ecke des Gefäßes je ein üppiger Hafer- und Roggenbüschel.

Bei Versuch II wurden zur Vermeidung dieser Fehler die ganzen Wandungen der Zementkasten sorgfältig mit einer Schicht Paraffin überzogen und es wurde die ganze Säure- resp. Basemenge im Anfang des Versuchs zugegeben und sorgfältig mit dem Sande vermischt. So gibt dieser zweite Versuch deshalb auch zuverlässigere Resultate. Jedenfalls werden wir diese Methode der Prüfung der Reaktionsempfindlichkeit verschiedener Pflanzen fortsetzen, denn sie gestattet uns das Verhalten mehrerer Kulturpflanzen unter genau den gleichen Konzentrationsbedingungen miteinander zu vergleichen.

Die vorläufigen Resultate können der ihnen anhaftenden Fehler wegen natürlich nur unter Vorbehalt benutzt werden, im allgemeinen finden wir hier die schon bekannte Tatsache bestätigt, daß die Getreidearten am wenigsten säureempfindlich sind, eher sogar säureliebend, im Vergleich z. B. zum Senf.

Saure Reaktion bevorzugen resp. vertragen bis zu einer gewissen Hö… } Weizen, Roggen, Mais

Neutrale Reaktion verlangen resp. bevorzugen:	Mohn, Rotklee, Wicken.
Verhältnismäßig gleichgültig gegen Reaktionsänderungen sind:	Hafer, Erbse, Raps, Buchweizen, Schwedenklee.

Ein weiterer umfangreicher Versuch mit Mais und Senf untersuchte die Wirkung verschiedener Phosphate bei Gegenwart verschiedener Stickstoffdünger, physiologisch saurer oder physiologisch alkalischer. Von Phosphaten wurden geprüft, Trikalziumphosphat, Monokalziumphosphat, Obolensandstein und norwegischer Apatit, von Stickstoffdüngern, die die Ausnutzung dieser Phosphate entweder unterstützen oder hemmen konnten, Ammoniumsulfat, Ammoniumnitrat, Kalziumnitrat und Natriumnitrat, letzteres bei Abwesenheit bezw. bei Gegenwart von Kaliumsulfat. Jede dieser Kombinationen entweder ohne Kalk resp. mit 10 g Schlemmkreide. Um die physiologische Nebenwirkung anderer Nährsalze möglichst auszuschalten, wurde Hohenheimer Ackerboden benutzt, der wie mehrere Vorversuche bewiesen hatte, weder kalk- noch kalibedürftig war und bei dem sich deshalb eine weitere Zuführung dieser beiden Nährstoffe erübrigte. Auf Stickstoff- und Phosphorsäuredüngung reagierte der Boden dagegen lebhaft.

Anordnung, Ernteerträge und Ascheanalysen siehe Seite 59 und Tabelle 9 und 10, sowie Tafel I, Abb. 1 und 2.

Hier sei der Übersicht halber nur eine kurze Tabelle eingeschaltet, welche, indem sie stark abgerundete Durchschnittszahlen gibt, einen Überblick über die gewonnenen Resultate gestattet.

Ertrag und Kalkphosphorsäurefaktor bei verschiedener Bodenreaktion.

	Mais			Senf		
	Ertrag im Mittel		Dazu CaO/P_2O_5 Faktor	Ertrag im Mittel		Dazu CaO/P_2O_5 Faktor
	sauer	alkalisch		sauer	alkalisch	
Ungedüngt	10	10	5:5	5	5	21:21
Ohne P_2O_5	13	4	8:14	10	14	40:80
Monocalc. Phosphat	40	25	7:10	40	48	10:20
Tricalc. Phosphat	40	6	7:20	42	42	14:30
Obolensandstein	25	3	7:22	40	30	14:49
Apatit	7	2	12:27	35	20	16:71

Wir begegnen auch hier wieder den bekannten Erscheinungen. Überlegenheit des Senfs in bezug auf Ausnutzung schwerlöslicher Phosphate. Eine Verwertung der Phosphate wird wirksam unterstützt durch saure Stickstoffnebendüngung, durch Kalkzugabe kann der Erfolg dieser Nebendüngung bei Mais gänzlich aufgehoben werden, während beim Senf nur eine geringe Ernteertragsdepression erfolgt.

Mais. Auffallend sind die Erkrankungserscheinungen beim Mais, die auf eine Vergiftung infolge alkalischer Reaktion hinweisen. Katastrophal tritt diese Erscheinung auf bei d[illegible]

versuchs ein schwacher, auch bei Monokalziumphosphat. Es ist anzunehmen, daß die physikalische Beschaffenheit des Bodens die Hauptschuld trägt. Der schwere Hohenheimer Lehmboden backt ohne Sandzugabe im Laufe der Vegetationszeit zu einer Wasser und Luft schwer zugängigen Masse zusammen, was die Maiswurzeln schwer zu schädigen scheint. Jedenfalls ist die ganze Zeit die Erscheinung zu beobachten, daß die im Boden wachsenden Wurzeln absterben und immer neue Kronenwurzeln gebildet werden, wobei häufig einzelne Exemplare zu Grunde gehen.

Kalk hat bei ungedüngt keine Depression bewirkt, ebenso bei Phosphorsäure ohne Stickstoff keine. Bei Stickstoff ohne P_2O_5 haben die sauren Salze auch mit Kalk gut, oder sagen wir, ohne beträchtliche Einbuße gewirkt. Die alkalischen Stickstoff-Düngemittel ohne Phosphorsäure haben geschadet, besonders bei Kalkgegenwart. Im allgemeinen scheint es also, als wenn Phosphorsäure allein oder Stickstoff allein keine so schädlichen Wirkungen hervorbringen, wie die Kombinationen dieser beiden bei alkalischer Reaktion, besonders durch Kalkzugabe. Monokalziumphosphat hat überall gewirkt bei saurer wie alkalischer Nebendüngung, bei ohne Stickstoff auch etwas durch saure Reaktion. Kalk bewirkt eine nur kleine Depression; bei Ammoniumchlorid und Ammoniumsulfat sogar eine kleine Besserung. Trikalziumphosphat wirkte gut bei saurer Nebendüngung (Trikalziumphosphat+$NH_4/_2SO_2$ ergab die Maximalernte), Kalk hob die Wirkung von Ammoniumsulfat und Ammoniumchlorid gänzlich auf. Bei alkalischer Stickstoffdüngung war die Phosphorsäurewirkung geringer und ging sogar in Schädigung über bei Kalkgegenwart. Obolensandstein wirkt alkalischer als Trikalziumphosphat; eine Phosphorsäurewirkung ist nur zu bemerken bei Ammoniumsulfat, Obolensandstein bei Gegenwart alkalischer Stickstoffdüngung wirkt überhaupt nicht. Eine Katastrophe tritt ein bei Gegenwart von Kalk. Apatit wirkt ohne saure Reaktion überall als Gift und scheint auch bei saurer Reaktion keine spezifische Phosphorsäurewirkung auszuüben.

Der Mais bevorzugt also deutlich saure Reaktion während seines Wachstums. Alkalische Düngemittel schaden auch ohne Phosphorsäure und senken die Erträge gegenüber ungedüngt.

Der Senf verwertet schwerlösliche Phosphate auch bei alkalischer Stickstoffdüngung und zwar bewirken Monokalziumphosphat, Trikalziumphosphat und Obolensandstein bei der gewählten Gabe von 1 g P_2O_5 auf 6,0 k Boden fast gleiche Mehrerträge. Apatit wirkt schwach, aber deutlich, Gegenwart von Kalk ruft dabei eine nur kleine Depression hervor. Saure Stickstoffdüngemittel rufen durch saure Reaktion eine leichte physiologische Schädigung hervor, die durch Kalk beseitigt wird. Besonders bemerkbar bei Monokalziumphosphat. Die Gegenwart von NH_4Cl wirkt tödlich und kann nur durch gleichzeitige Gegenwart von Kalk vertragen werden.

Chlorempfindlichkeit des Senfs. Wie die Resultate dieses Versuches zeigen, hat das Ammoniumchlorid sehr schädigend auf den Senf gewirkt. Es hat nicht nur den Gesamtertrag völlig herabgedrückt, besonders bei Abwesenheit von Kalk, es rief auch interessante Habitusveränderungen hervor; es waren sowohl morphologische wie histologische Veränderungen zu bemerken, zugleich ließen sich auch Konzentrationsverschiebungen im Zellsaft feststellen.

Die Schädigungserscheinungen durch Ammoniumchlorid als Bodendüngung vor der Saat oder gleichzeitig mit derselben gegeben sind gering im Vergleich zu denjenigen, die Ammoniumchlorid in Form von Kopfdüngung hervorzurufen im Stande ist.

Schon im ersten Jugendstadium macht sich diese Schädigung durch Gelblichwerden der jungen Pflanzen bemerkbar und langsameres Wachstum. Allmählich nehmen dann die Pflanzen ein so anormales Aussehen an, daß man meinen könnte, eine andere Spezies vor sich zu haben. Die ganze Pflanze ist von gedrungener, mastiger Gestalt, die Stengel abnorm stark, die Blätter verlieren einen großen Teil ihrer feinen Zahnung, Aderung und Behaarung, sie nehmen starken Glanz an bei sehr vereinfachter äußerer Kontur und Struktur, sie werden sukkulent, porzellanartig und brüchig. Hand in Hand mit diesen äußeren Veränderungen gehen weitgehende innere, welche auch in dieser Hinsicht diese chlorbeschädigten Pflanzen dem Typus der halophilen ähnlich machen.

In einer ausführlicheren Arbeit werde ich demnächst unsere gemeinsam mit Fräulein Dr. v. *Bronsart* gemachten Beobachtungen über diese Veränderungen unter dem Einfluß von Chlor beschreiben.

Hier möchte ich nur noch betonen, daß diese schädigende Wirkung des Cl-Ions im Ammoniumchlorid durch folgende Maßnahmen zu bekämpfen ist:

1. Durch Darbietung als Bodendüngung anstelle von Kopfdüngung. Es ist anzunehmen, daß die plötzliche Überschwemmung mit Chlor-Ionen in erster Linie die Veranlassung zu den Schädigungen ist, besonders wenn man in Betracht zieht, daß unser Hohenheimer Ackerboden eine große Absorptionskraft für NH_4-Ionen besitzt, die er momentan absorbiert. Allmählich werden auch die Cl-Ionen des Ammoniumchlorids wahrscheinlich gleichfalls absorbiert oder auch zum Austausch gezwungen resp. ausgewaschen, daher die verhältnismäßig geringere Schädigung durch Ammoniumchlorid in Form von frühzeitiger Bodendüngung. Das Kaliumchlorid wirkt nicht annähernd so stark wie das Ammoniumchlorid.
2. Durch gleichzeitige Darbietung von Kalk resp. von physiologisch alkalischen Düngemitteln, besonders aber Verwendung von basischen Phosphaten, Rohphosphaten, Trikalziumphosphat, jedenfalls aber nicht von Superphosphat, das, wie das Beispiel mit dem Monokalziumphosphat zeigt, wi[illegible]

Trikalziumphosphaten resp. Rohphosphaten zwei Fliegen mit einer Klappe schlagen könnte. 1) Verwendung des unter Umständen schädlichen Ammoniumchlorids und 2) Verwendung der nur unter bestimmten Bedingungen aufnehmbaren schwer löslichen Phosphate.

Bei den Arbeiten mit verschiedenen Phosphaten bei verschiedener Bodenreaktion ließ sich fast immer das Auftreten einer charakteristischen Färbung des Sandes oder auch des Ackerbodens beobachten. Da diese durch äußere Umstände auftretende Färbung bei an sich farblosem resp. weißem Sande besser zu beobachten war als bei eigengefärbtem Ackerboden, so soll hier in erster Linie das Verhalten der Sandkulturen besprochen werden.

Hatten wir leichtlösliche, meist saure, Phosphate zur Düngung verwandt, so färbte sich der Sand im Verlauf der Vegetationszeit, öfters schon nach einigen Tagen, lebhaft grün. Dieselbe Erscheinung ließ sich bei Anwendung von Tricalciumphosphat bei saurer Nebendüngung beobachten. Es ließ sich konstatieren, daß die Färbung von einem grünen Mikroorganismus herrührte. Dieser grüne Flagellat trat nicht auf bei den ohne Phosphorsäure gelassenen Gefäßen, ebenso blieb er aus bei Kulturen, die schwerlösliche Phosphate, Rohphosphate resp. Trikalziumphosphat bei alkalischer oder neutraler Reaktion der Bodenlösung enthielten. In diesen Kulturen zeigte sich, meist etwas später als dies bei der Grünfärbung der Fall zu sein pflegte, eine lebhaft rote Färbung, welche aller Wahrscheinlichkeit nach von der sogenannten Palmella-Form einer Haematococcus-Art herrührte. Zugleich konnte beobachtet werden, daß in diesen rotgefärbten Sandkulturen eine Verwertung von Phosphorsäure durch die Getreidearten ausblieb und die Pflanzen an Phosphorsäuremangel litten, resp. daran zugrunde gingen. Oft traten diese beiden Farben, rot und grün, so frühzeitig und charakteristisch auf, daß ich an ihrem Auftreten vorhersagen konnte, ob eine Verwertung der dargebotenen Phosphate durch die Versuchspflanzen zu erwarten stand oder nicht. Ob die grüne Färbung von der grünen Form des Haematococcus herrührt oder von einem anderen Flagellaten (Pleurococcus? Chlorococcus?) konnte bisher nicht entschieden werden. Wahrscheinlicher erscheint mir das Erstere. Reichenow[1]) beschreibt den Haematococcus pluvialis ausführlich. Im sogenannten Palmella-Zustand ist derselbe durch einen roten Farbstoff, das Haematochrom, rotgefärbt, dieser Dauerzustand stellt einen der Encystierung ähnlichen dar, wenigstens insofern, als er unter ungünstigen Umständen besonders bei Austrocknung auftritt. Im Gegensatz zum reinen Cystenzustand wächst die Alge in diesem Palmellastadium weiter und vermehrt sich durch Teilung, solange die Lebensbedingungen es gestatten. Diese Eigenschaft der Vermehrung trotz Phosphorsäuremangel habe ich gleichfalls beobachten können.

Gelegentlich ließ sich auch eine Mischung beider Farben und Formen

und in den Fällen auftrat, wo z. B. Trikalziumphosphat in neutraler besonders aber schwach saurer Lösung vorlag, in welchem Zustande es von den Kulturpflanzen im allgemeinen teilweise, wenn auch ungenügend verwertet werden kann.

Reichenow hat den Einfluß des Mediums auf das Auftreten der einen oder der anderen Form studiert. Schon Wollenweber[1]) beobachtete, daß der rote Flagellat aus Regenwasser in Knops Nährlösung gebracht ergrünt; Reichenow hat dann den Einfluß der einzelnen Nährstoffe einer Molisch-Lösung auf dessen Ergrünen näher untersucht und gelangte zum Resultat, daß durch das Fehlen von Dikaliumphosphat, noch mehr aber durch das des Kalisalpeters das Schwinden des vorhandenen Hämatochroms verhindert wird. Reichenow, den das Auftreten des Hämatochroms in erster Linie interessiert, gelangt also zum Schluß, daß durch Stickstoffsalze das Hämatochrom zum Verschwinden gebracht wird, daß also in stickstoffhaltigen Lösungen Haematococcus stets grün, in stickstofffreien bezw. sehr stickstoffarmen rot sein muß. Das Vorhandensein resp. Fehlen von Phosphorsäure übt nach Reichenow einen gleichartigen wenn auch weniger starken Einfluß auf die Entwicklung des Haematococcus aus.

Ich habe über die Flagellaten nur gelegentlich Beobachtungen gemacht und keine systematischen Untersuchungen angestellt. Ich habe aber in Dutzenden von Fällen das Auftreten der roten Art bei Phosphorsäuremangel resp. bei Gegenwart schwerlöslicher Phosphate bei alkalischer Reaktion beobachten können und ich habe bei Gegenwart leicht löslicher resp. saurer also überhaupt wirksamer Phosphate stets den grünen Flagellat beobachtet. Auch in Wasserkulturen, die ich zu anderen Zwecken aufstellte und zwar jede Nährlösung für sich in getrennten Zylindern, trat in einer reinen Ammoniumsulfatlösung blutrote Färbung auf, während im benachbarten, Dicalciumphosphat enthaltenden Zylinder, die grüne Form sich zeigte. Mir erscheint es deshalb wahrscheinlicher, daß die Färbung des Flagellaten mehr unter dem Einfluß von Phosphorsäure als demjenigen von Stickstoff erfolgt[2]).

Da mir dieses Arbeitsgebiet fern liegt, so habe ich diese interessanten Fragen zunächst nicht weiter verfolgen können, was vielleicht gelegentlich einmal noch geschehen soll. Ich möchte hier nur noch erwähnen, daß ich das Auftreten dieser roten und grünen Färbung seither auch bei Besichtigung anderer Versuchsstationen gelegentlich konstatieren konnte und zwar gleichfalls unter den von mir als Vorbedingung angenommenen Umständen. Ebenso habe ich, seitdem mein Auge auf diese charakteristischen Färbungserscheinungen eingestellt war, ähnliche Oberflächenbezüge auch auf Ackerböden beobachten können. Die Felsen in der Schweiz sind durch eine Mikroflora häufig entweder rot oder grün gefärbt. Früher

[1]) Untersuchungen über die Algengattung Haematococcus.

schloß man nach dieser Färbung auf den Kalkgehalt und nahm an, daß die rotgefärbten Gesteine kalkreich, die grüngefärbten kalkarm seien.

Vielleicht ließen sich diese beiden Flagellatenformen zur Bodenprüfung verwenden, gewissermaßen als Versuchspflanzen, um in einer kleinen Bodenprobe, die natürlich vorher in entsprechender Weise mit Sand verdünnt sein müßte, einen abgekürzten Mikro-Vegetationsversuch anzustellen. Vielleicht könnten sie als Indikatore auf Kalkreichtum und Phosphorsäurearmut dienen?

Fraglos sind auch, abgesehen von der Stickstoffassimilation, Gegenwart und Tätigkeit der Kleinlebewesen, Bakterien, Algen, Flagellaten nicht ohne Einfluß auf die gesamte Ernährung der Pflanzen. Die Phosphorsäureaufnahme im allgemeinen, besonders aber die Wirksamkeit schwerlöslicher Phosphate steht gewiß unter dem Zeichen dieser Wechselbeziehungen. Ich will hier nur über einige Beobachtungen berichten, die ich in dieser Hinsicht machen konnte.

Wie durch zahlreiche Versuche nachgewiesen und beschrieben wurde, wirkt der estländische Obolensandstein im Hohenheimer Ackerboden außerordentlich günstig auf Senf, wir konnten bei Gaben von etwa 1,2 g P_2O_5 auf 6,5 k Boden mit Thomasmehl und Obolensandstein die gleichen Erträge erhalten. Im Sommer 1920 wurde uns eine Probe Waldboden eingesandt, der sich als ungewöhnlich unfruchtbar erwiesen hatte. Wir konnten durch einen Versuch mit Senf großes Phosphorsäurebedürfnis feststellen und unternahmen nun einen 2. Versuch, um zu prüfen, ob der Obolensandstein auch in diesem Boden so günstig wirken würde; neben Obolensandstein gaben wir einer anderen Parzellenreihe kohlensauren Kalk. Gesät wurde am 8. Juni. Zunächst bis zum 26. Juni standen die Kalktöpfe kräftiger als die mit Obolensandstein, dann begannen die Obolenpflanzen aufzuholen, die Kalkpflanzen blieben, wenn auch von ursprünglich gedrungenem und kräftigem Bau, jetzt ganz zurück im Wuchs, die mit Obolensandstein gedüngten Pflanzen begannen in die Höhe zu schießen und zahlreiche Blätter anzusetzen. Diese Erscheinung trat aber nicht gleichmäßig auf, sondern von einem Herde aus, von wo sich diese Wachstumswelle dann infektionsartig über das ganze Gefäß fortpflanzte, ähnlich wie dies bei den Leguminosen nach Impfung mit Knöllchenbakterien bewirkt werden kann. Um den 26. Juni setzte dies plötzliche lebhafte Emporschießen ein. Zuerst beim Gefäß Nr. 18 (s. Tabelle). Dieselbe Erscheinung ließ sich nach einigen Tagen, wenn auch schwächer bei Nr. 17 beobachten, während Nr. 16 sich nur ganz langsam und gleichmäßig weiter entwickelte und bei der Ernte am 6. August sein Wachstum scheinbar eingestellt hatte.

Versuch I (Gesät 12. Mai):	g Trockengewicht	
Ungedüngt	6,0 4,2	4,9

	Nr.	g Trockengewicht	Mittel
Ohne N.		13,2	
		12,5	12,2
		11,0	
Ohne K_2O		34,4	
		34,8	35,5
		37,2	
Volldüngung mit Dikalziumphosphat		38,5	
		37,8	39,1
		41,0	
Versuch II (Gesät 8. Juni):			
Ohne P_2O_5 mit Kalk	19	2,4	
	20	3,2	2,9
	21	3,2	
Obolensandstein ohne Kalk	16	5,8	
	17	13,5	13,4
	18	21,0	

Versuch II hat im allgemeinen einen viel schlechteren Ertrag ergeben als Versuch I. Dikalziumphosphat hat den Ertrag gegenüber ohne P_2O_5 um das Siebenfache erhöht. Obolensandstein im Durchschnitt um das Fünffache, die Wirkung des letzteren ist aber keine gleichmäßige gewesen bei den einzelnen Gefäßen, wie dies beim Dikalziumphosphat der Fall war. Leider stand uns vom Waldboden nicht mehr zur Verfügung; ich hätte sonst einen Versuch gemacht, denselben vor der Anwendung von Rohphosphat mit einem Aufguß von Hohenheimer Ackerboden zu impfen.

Ähnliche infektionsartig auftretende Erscheinungen konnten wir bei einem Versuch mit Kartoffeln 1921 machen, bei demselben hatte das dem Boden (einem Gemisch von Sand und Hohenheimer Ackerboden) dargebotene Rhenaniaphosphat ein sehr lebhaftes und kräftiges Wachstum der Kartoffel hervorgerufen im Vergleich zu den ohne Phosphorsäure gelassenen Gefäßen, die vom 25. Mai bis 16. August typische Phosphorsäuremangelerscheinungen zeigten — schmutzige, graugrüne Färbung der leicht nach oben geklappten glanzlosen, trocken erscheinenden Blätter. Vom 16. August an änderte sich das Bild; von den sechs ohne Phosphorsäure gelassenen Gefäßen begannen am 16. August zwei plötzlich zu ergrünen, es folgten allmählich die anderen. Zuerst wurden die jungen bis dahin saft- und kraftlos erscheinenden Spitzen lebhaft grün, begannen kräftig zu wachsen, und dies allgemeine Wachstum der ohne Phosphorsäure gelassenen Pflanzen setzte sich bis in den Herbst hinein (etwa bis 8. Oktober) fort, während das Kraut aller anderen Gruppen (Volldüngung, ohne Stickstoff, ohne Kali, ungedüngt) schon viel früher abstarb.

Ganz ähnliche Beobachtungen habe ich 1920 machen können. Ich hatte eine ganze Reihe verschiedener Pflanzen im Hohenheimer Acker-

Hanf deutlich zu sehen war; wenn auch die Pflanzen ohne Phosphorsäure die anderen nicht mehr einholen konnten, so war der Abstand zur Zeit der Ernte doch beträchtlich kleiner geworden. Irgend ein Umstand hatte auch hier die Verwertung der schwerlöslichen Bodenphosphate erleichtert.

Sowohl im Sommer 1920 wie 1921 hatte sich unmittelbar, vor dem diese Erscheinungen einsetzten, folgendes zugetragen. Dicht an den Versuchsgarten schließen sich Gemüseplätze an, auf welchen einige Tage vorher kräftig mit Fäkaldünger gedüngt worden war. Eine hierdurch erfolgte Bakterienverbreitung und -vermehrung erscheint nicht ausgeschlossen. Die Tätigkeit der Bodenbakterien und anderer kleiner Lebewesen in Beziehung zum Pflanzenwachstum und zur Verwertung der Nährstoffe ist uns bis jetzt leider ein mit vielen Siegeln verschlossenes Buch. Im allgemeinen werden von den Slaven diese wichtigen biologischen Fragen mehr bearbeitetet und erforscht, als dies bedauerlicherweise bei uns geschieht.

3. Stöchiometrische Beziehungen zwischen Kalk und Phosphorsäureaufnahme.

Es sind eine Reihe von Vegetationsversuchen aufgestellt worden, die zum Zwecke hatten zu erforschen, welche Mengen von Kalk erforderlich sind, um die Phosphorsäureaufnahme bei den verschiedenen Pflanzen deutlich zurückzudrängen. Da der Kalkphosphorsäurefaktor so sehr verschieden ist bei den einzelnen Pflanzen, so war zu erwarten, daß die Behinderung der Phosphorsäureaufnahme aus Kalkphosphaten durch Gegenwart von anderen Kalksalzen, also in erster Linie kohlensaurem Kalk, desto später eintreten müßte, je größer das Kalkbedürfnis (oder besser gesagt das Kalkverschlingungsvermögen) der betreffenden Pflanze ist. Einzelne Pflanzen besitzen bekanntlich Einrichtungen, um Überschüsse an Kalk dem Stoffwechselprozeß zu entziehen. In einer früheren Arbeit [1]) stellte ich die Vermutung auf, daß die in der Pflanze gebildete Oxalsäure dazu dienen könnte, den im Laufe des Stoffwechselprozesses sich anhäufenden Kalk durch Unlöslichmachen aus dem Kreislauf auszuscheiden. Ich gelangte zu dieser Annahme durch die Beobachtung des verschiedenen Kalkphosphatverwertungsvermögens der Pflanzen, das Hand in Hand zu gehen schien mit dem Kalkverschlingungsvermögen der einzelnen Pflanzen, dem der verschiedene Kalkgehalt ihrer Asche Ausdruck gibt. Auch die Botaniker scheinen jetzt die Bedeutung der Oxalsäure in der Bindung überschüssigen Kalziums zu sehen und nicht umgekehrt reichliche Kalkaufnahme durch die Notwendigkeit erklären, giftige Oxalsäure zu binden. In einer inzwischen erschienenen Arbeit legt Stahl [2]) dar, daß Zufuhr von organischen und anorganischen Kalksalzen die dazu befähigten Pflanzen zur fortgesetzten Bildung von Oxalsäure anregt, diese Bildung also im Dienste der Exkretbeseitigung steht. Die Bedeutung der wässrigen Aus-

überschüssiger Basen, dient nach Schimper, Kohl und Ruhland (S. 18) die Ausscheidung von kohlensaurem Kalk.

Ich möchte zu dieser letzten Frage folgende Beobachtung anführen. Die Salzausscheidung an den Blattspitzen konnte ich sehr schön bei Hanf beobachten bei der Verwertung eines Kalkrohphosphats. Das an den Spitzen ausgeschiedene weiße Salz schien der Mikroanalyse zufolge an der Oberfläche aus kohlensaurem Kalk und in der Mitte aus einem Kern von oxalsaurem Kalk zu bestehen; wenigstens löste sich solch ein Konglomerat an der Oberfläche unter Aufbrausen leicht in verdünnter Säure, der farblose Kristallkern dagegen nur langsam ohne Brausen in stärkerer Säure. P_2O_5 konnte darin nicht nachgewiesen werden.

Endlich kommt bei der Frage der Beseitigung überschüssigen Kalkes noch die Rückwanderung aus den Wurzeln in Frage. Ich neige der Ansicht zu, daß solch ein rückläufiger Prozeß bei der Ernährung keine große Rolle spielen kann. Ich verweise auf die schöne Arbeit von Pfeiffer[1]), welcher in einleuchtender Weise klarlegt, daß eine Abwanderung von Aschebestandteilen durch die Wurzeln in den Böden in nennenswerter Weise nicht stattfindet.

Beim Getreide, das weniger Kalk im Verhältnis zur Phosphorsäure enthält als dem Trikalziumphosphatmolekül entspricht, wird die Gegenwart ganz geringer Kalkmengen die Ausnutzung von Trikalziumphosphat verhindern, bei Senf oder Buchweizen müßte diese Schädigung erst sehr viel später eintreten. Während bis jetzt eine Verwertung von reinem Trikalziumphosphat durch die Halmfrüchte bei neutraler Reaktion nicht geglückt war, mußte dieselbe theoretischerweise zu erwarten sein bei vollständiger Abwesenheit anderer Kalksalze. Dieses wurde durch Versuche an Roggen, Hafer, Mais, Wicken, Senf und Buchweizen ausprobiert. Zuerst wurde mit Sand gearbeitet, dem durch Neutralisation mit der berechneten Menge Salzsäure der Kalk entzogen wurde; nach tagelangem Auswaschen erhielten wir einen Sand, der Kalk nicht mehr in wirksamer Form enthielt und in welchem Trikalziumphosphat auch bei neutraler Nebendüngung von Roggen und Mais verwertet wurden; in unverändertem 0,036 % Kalk enthaltendem Sande wurde das Trikalziumphosphat vom Getreide nicht verwertet, wohl aber vom Senf, den auch Zusatz von noch größeren Kalkmengen an dieser Verwertung nicht hinderte.

Um ein ganz deutliches Bild über die Kalkmengen zu erhalten, die eine Behinderung resp. Aufhebung der Kalkphosphatverwertung bei den einzelnen Pflanzen herbeiführt, wurde nun ein Versuch mit stöchiometrischen Nährstoffmengen ausgeführt; und zwar wurde wieder mit Sand gearbeitet, dem durch Neutralisation der kohlensaure Kalk entzogen war und dem dann 1 resp. 2, 5, 9, 20, 75, 225, 675 Moleküle kohlensaurer Kalk auf 1 Molekül Trikalziumphosphat zugesetzt wurde. Hierbei konnte konstatiert werden, daß den Abfall bei Hafer und Buchweizen ein ganz

von einem Molekül kohlensaurem Kalk sank der Ertrag auf die Hälfte, bei zwei Molekülen erntete man noch ein Drittel, bei fünf Molekülen hörte die Wirkung des Trikalziumphosphats überhaupt auf und der Ernteertrag blieb nun etwa gleich niedrig bei 20 Molekülen, 75, 225 und 675 Molekülen kohlensaurem Kalk. Zugabe von Gips bewirkte keine Verbesserung der Ausnutzung des Trikalziumphosphats; Gips wirkt also beim Getreide nicht physiologisch sauer.

Anders beim Buchweizen. Hier war die Verwertung des Trikalziumphosphats eine befriedigende auch noch bei Gegenwart von 5, 9 und 20 Molekülen kohlensaurem Kalk; bei Gegenwart von 75 Molekülen Kalk war sie noch nachzuweisen, in geringem Maße auch noch bei Gegenwart von 225 und 675 Molekülen. Freilich war hier der Ertrag infolge physiologischer Schädigung durch die sehr wirksame Schlemmkreide ein sehr geringer. Gips wirkt bei Buchweizen deutlich physiologisch sauer. (Anordnung, Erträge usw. s. S. 64 und Tabelle 11—16).

Hier müssen noch einige Worte über die Auswaschung resp. Neutralisation von Kalk aus Vegetationssand gesagt werden. Schon häufig ist die Beobachtung gemacht worden, daß ein mit Salzsäure ausgewaschener Vegetationssand auch nach sorgfältigster Auswaschung, die bis zum Verschwinden jeglicher Säurereaktion fortgesetzt wurde, dennoch zu Schädigungen Veranlassung gab, resp. deutlich veränderte Eigenschaften zeigte. Bekanntlich nimmt man an, daß ein solcher Sand, wenn auch nicht absolut sauer, so doch austauschsauer geworden ist, d. h. daß bei Behandlung mit Neutralsalzen, durch Absorption des Basenanteils durch den Sand, der nachgebliebene Säureanteil dem Sand saure Reaktion verleiht.

Um den Sand so wenig wie möglich in seiner chemischen Zusammensetzung zu verändern, bin ich bei der Neutralisation des kohlensauren Kalkes in einem Sande meist so verfahren, daß ich den Sand bei gewöhnlicher Temperatur unter häufigem Rühren tagelang mit der zur Neutralisation genau berechneten Menge Säure in große asphaltierte Gefäße gebracht habe. Die dazu erforderliche Säuremenge habe ich zuerst aus dem durch Analyse ermittelten kohlensauren Kalkgehalt berechnet, dann habe ich aber noch mit kleinen Sandmengen Vorversuche angestellt, um zu konstatieren, ob sich die gefundenen Kalkmengen auch tatsächlich bei gewöhnlicher Temperatur innerhalb einer gewissen Zeit durch die berechnete Säuremenge neutralisieren ließen. Meist habe ich dabei beobachtet, daß nicht die ganze berechnete Säuremenge, sondern ein etwas geringerer Anteil in absehbarer Zeit vom kohlensauren Kalk neutralisiert wird, und daß zur Neutralisation des dann noch nachgebliebenen Kalkanteils höhere Säurekonzentration, resp. höhere Temperatur erforderlich war. Ich habe dann die bei gewöhnlicher Temperatur ermittelte Säuremenge verwandt. Bei einigen meiner Versuche habe ich die Neutralisation mit Schwefelsäure vorgenommen und den auf diese Weise gebil-

Auch bei dieser Neutralisationsmethode ist der Sand gewiß austauschsauer geworden und die Verwertung des Trikalziumphosphats kann deshalb beim Getreide unter dem Einfluß dieser austauschsauren Reaktion erfolgt sein. Dieser Einwand könnte gemacht werden, das gebe ich ohne weiteres zu, dennoch wählte ich diesen Weg, denn entkalkt mußte der Sand werden, um nachher mit stöchiometrischen Kalkmengen arbeiten zu können. Tatsächlich wurden dann bei Zusatz steigender Kalkmengen ganz verschiedene Abfallkurven der Phosphorsäureverwertung bei den verschiedenen Pflanzen erhalten. Die verschiedenen Resultate, die wir hier bei den einzelnen Pflanzenarten erhalten, sind jedenfalls unter sich vergleichbar.

Diese Beobachtungen erhalten erst eine richtige Deutung durch Hinzuziehung der Ascheanalysen. Wir entnehmen aus denselben, daß jeder Pflanze ein innerhalb bestimmter Grenzen schwankendes Verhältnis der Moleküle $CaO : P_2O_5$ eignet; bei einzelnen Pflanzen ist dieser Faktor hoch — Resultat eine gute Kalkphosphatverwertung, oder aber er ist niedrig — eine ungenügende oder ausbleibende Kalkphosphatverwertung.

In einer früheren Arbeit wurden die Pflanzen im Hinblick auf ihr verschiedenes Verhalten schwerlöslichen Kalkphosphaten gegenüber in zwei verschiedene Gruppen, die Phosphorsäureaufschließer und Zehrer geschieden. Die verschiedenen Pflanzen, so möchte ich diese Unterschiede heute formulieren, verhalten sich schwerlöslichen Kalkphosphaten gegenüber deshalb so verschieden, weil Gegenwart gleicher Kalkmengen ganz verschieden auf sie wirken. Bei den kalkliebenden Pflanzen, den sogenannten Aufschließern, wird bei steigenden Kalkmengen die Verwertung schwerlöslicher Kalkphosphate nur einen ganz langsamen Abstieg erleiden, bei den kalkfliehenden, wie z. B. den Halmfrüchten, wird dieser Abfall sich in einem jähen Knick ausdrücken. Und nie, das ist meine Überzeugung, werden wir Bedingungen schaffen können, unter denen sich verschiedene Pflanzen, z. B. dem Trikalziumphosphat gegenüber, ganz gleich verhalten werden. Nehmen wir den Fall, daß wir in absolut neutralem und kalkfreiem Boden dem Senf und dem Mais Trikalziumphosphat als einzige Kalk- und Phosphorsäurequelle darbieten. Was wird geschehen? Bei beiden Pflanzen werden Ernährungsstörungen eintreten, nur wird der Senf letzten Endes an Kalkmangel, der Mais an Phosphorsäuremangel zugrunde gehen. Die Ascheanalyse kann uns darüber belehren.

	Nummer	Senf			Nummer	Mais		
		CaO %	P_2O_5 %	Faktor		CaO %	P_2O_5 %	Faktor
Trikalziumphosphat in entkalktem Sande	120	1,82	0,64	7	61	0,74	0,12	16
Bei P_2O_5-Mangel .	134	4,05	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]

Aus dem %-Gehalt an Kalk und Phosphorsäure sehen wir also deutlich, daß bei einer einseitigen Ernährung mit Trikalziumphosphat Senf an Kalkmangel, Mais an Phosphorsäuremangel leidet.

Folgen wir den Annahmen der Botaniker, daß bei der Ernährung der Pflanze die Wurzelhaare ein schwerlösliches Mineralteilchen umklammern und langsam zerstören, so müssen wir uns doch vorstellen, daß bei der Verwertung eines Trikalziumphosphatteilchens durch den Mais Kalk zurückgelassen wird, durch den Senf Phosphorsäure.

Wir werden, wenn wir diesen Fragen volle Bedeutung zuwenden und dieselben zu Ende gedacht haben, unsere Erkenntnis über Phosphorsäuredüngungsfragen fördern.

Bei unseren Vegetationsversuchen ließ sich häufig beobachten, daß bei den Pflanzen, die schwerlösliche Kalkphosphate verhältnismäßig schlecht ausnutzen, durch Erhöhung der Gaben immer noch Steigerungen im Ertrag zu erzielen waren, während z. B. bei Senf, Buchweizen, Rüben bei 2 gr Phosphorsäure — in Form von Rohphosphat — gegenüber etwa 1,2 gr leichter löslicher Phosphate auf 6,5—13 k Boden der Höchstertrag erreicht erschien.

Diese Beobachtung läßt sich durch Heranziehung der eben besprochenen stöchiometrischen Gesetzmäßigkeiten — Kalk zu Phosphorsäure — deuten. Nehmen wir an, in unserem Hohenheimer Ackerboden sei pro Vegetationsgefäß etwa 2 g kohlensaurer Kalk in wirksamer Form enthalten. Diese 2 g setzen die Verwertung schwerlöslicher Kalkphosphate herab. Bei Buchweizen ist die Ausnutzung von Trikalziumphosphat bei 2 g desselben zu 2 g Kalk, entsprechend 1 Mol. Trikalziumphosphat zu 3 Molekülen Kalk eine zufriedenstellende, bei Getreide ist in diesem Verhältnis die Ausnutzung nur eine sehr geringe, sie steigt infolgedessen langsam aber dauernd an, sobald man dieses Verhältnis zugunsten des Trikalziumphosphats verschiebt. Durch Erwägungen solcher Art ließe sich gewiß auch das scheinbar größere resp. geringere Bedürfnis für bestimmte Nährstoffe der verschiedenen Pflanzen erklären.

Als Resultat beobachten wir: In dem Hohenheimer Ackerboden wird der Obolensandstein gut vom Senf, Buchweizen usw. ausgenutzt. Um beim Getreide einigermaßen befriedigende Mehrerträge durch Rohphosphat zu erzielen, müßte man sehr große Mengen anwenden; enthält nun aber das betreffende Rohphosphat an sich noch beträchtliche Mengen kohlensauren Kalk, so bleibt die Ausnutzung dauernd schlecht.

Kennt man den Kalkphosphorsäurefaktor und seine Latitüden bei den einzelnen Pflanzen, so lassen sich die Aschenanalysen deuten und diese gestatten einen Rückschluß auf das Phosphorsäurebedürfnis eines Bodens.

Die Deutung der Ascheanalysen war bis jetzt kaum möglich. In der Literatur findet man zahlreiche Veröffentlichungen darüber, daß Pflanzen di[illegible]

Pflanzen das bei Tieren und Menschen häufig auftretende psychologische Moment wegfällt, nämlich die Angst vor dem Verhungern in Zeiten der Not, so sind solche Hamstereigenschaften bei den Pflanzen unwahrscheinlich. Sieht man sich aber viele Vegetationsversuche auf Grund unserer neuesten Erkenntnisse über die physiologische Alkalität und Acidität an, so wird man zur Überzeugung gelangen, daß einem großen Teil der früheren Vegetationsversuche keine eindeutige Fragestellung zugrunde liegt. Dieselben gaben häufig keineswegs Aufschluß über die beabsichtigte Frage, nämlich über den Mangel resp. das Fehlen eines Nährstoffes, oder gar über dessen Löslichkeits- bezw. Wirkungsfaktor, um so häufiger liegen dem Versagen des Wachstums eine ungünstige physiologische Reaktion oder falsche quantitative Verhältnisse der einzelnen Nährstoffe zugrunde.

Erinnern wir uns an die ersten Vegetationsversuche, die in Gefäßen mit Böden oder in Form von Wasserkulturen angestellt wurden. Es berührt seltsam, wenn man die Erträge an Pflanzenmasse betrachtet, die diese ersten Pioniere erzielten, es waren wenige Gramm, die Pflanzen selbst waren Kümmerlinge traurigster Art. Dann stellten Hellriegel, Knop, Sachs Nährsalzkombinationen zusammen; jetzt erhalten wir in unseren Vegetationsgefäßen Ernteerträge, die diejenigen auf dem Felde weit überflügeln. Es wäre wohl der Mühe wert, den Gründen mehr nachzuspüren, weshalb diese ersten Versuche jahrelang mißlangen. Wahrscheinlich könnten die Mißerfolge dieser ersten Zeit uns viel Aufklärung und Anregung geben. Bedeutungsvoll erscheint mir der Bericht eines der ersten Versuchsansteller aus dem Jahre 1869 Brettschneider. Er versuchte es sowohl mit Quarzsand, wie mit Wasserkulturen, wandte diesen Versuchen viel Sorgfalt und Umsicht zu und berichtet nach vierjähriger Arbeit, das Erreichte seien nur kranke Pflanzen gewesen, die er nicht zu schützen vermocht hätte vor allerhand tierischen und pflanzlichen Parasiten. Dann setzt er aber hinzu, es müsse zunächst erforscht werden, welche Kulturpflanzen eine alkalische Zeolitmasse und welche eine sauer reagierende zu ihrem Wachstum benötigen. Darin liegt meiner Ansicht nach in der Hauptsache der springende Punkt bei den Mißerfolgen der ersten Jahrzehnte und den Erfolgen der folgenden. Wir haben es gelernt, aber oft nur zufällig, empirisch, durch den Versuch gelernt, die Klippe der Bodenreaktion zu umschiffen.

Da, wo das Fehlen resp. der Mangel eines Nährstoffes Veranlassung für mangelhaften Ertrag ist, wird sich dies auch immer im niedrigen Prozentgehalt dieses Stoffes in der Asche dokumentieren, resp. in einem verschobenen Verhältnis zu den übrigen Nährstoffen. Befindet sich z. B. die Phosphorsäure im Minimum, so wird sich dies in einem absolut niedrigen Phosphorsäuregehalt, dann aber auch in einem enorm hohen Kalkphosphorsäurefaktor ausdrücken.

Hier noch ein Wort über die Topfversuche, die die Feststellung des

erkannten Fehler, daß man eine zu große Anzahl Pflanzen auf verhältnismäßig sehr kleinem Bodenvolumen und Oberfläche wachsen läßt. Oft sind es zudem noch kurzlebige Pflanzen, die beim schnellen Tempo ihres Wachstums unter sonst günstigen Vegetationsbedingungen ganz besonders dankbar für leichtlösliche Stoffe sich erweisen. Die Übertragung eines derartigen Resultats auf die Praxis ist nicht zulässig. Aber abgesehen von diesen allgemein verurteilten Irrtümern laufen andere weniger leicht zu erkennende mit unter. An und für sich wird ein Kulturboden selten kaliarm oder phosphorsäurearm sein d. h. einen für die Pflanzenernährung zu niedrigen Gehalt an K_2O und P_2O_5 aufweisen; trotzdem wird er sich häufig dankbar für eine Kali- resp. Phosphorsäuredüngung erweisen und zwar aus verschiedenen Gründen. Es kann sich dabei um Konzentrationsfragen handeln, um Verschiebung des Nährstoffverhältnisses, sehr häufig um Reaktionsfragen. Ich glaube, es müßte auf Grund unserer heutigen Erkenntnisse gelingen, jeden Boden scheinbar phosphorsäurebedürftig, d. h. dankbar für eine Phosphorsäuredüngung, zu machen. Ich nehme zwei Beispiele: es wird mir ein Lehmboden eingesandt, Kalkgehalt gering. Ich wähle Senf als Versuchspflanze, Nebendüngung Hallenser Mischung, vielleicht noch Ammoniumsulfat. Die Gruppe ohne Phosphorsäure zeigt einen sehr schwachen Ertrag, Thomasmehl und auch Rohphosphat wirken vorzüglich. Bei saurer Nebendüngung sind Kalkphosphate auf säureempfindliche Pflanzen von enormer Wirkung. Hätten wir eine physiologisch alkalische resp. neutrale Nebendüngung gewählt, wäre die Wirkung beim Vegetationsversuch eine bescheidene gewesen, beim Feldversuch wahrscheinlich ganz ausgeblieben. Kalziumkarbonat wirkt in diesen Fällen auch, aber nur bis zu einem gewissen Grade und lange nicht in so starkem Maße wie Kalkphosphate. Wir müssen es hier mit einer Summierung der Kalk- und Phosphorsäurewirkung zu tun haben. Auch hier wäre vielleicht die Erklärung zulässig, daß gerade die abwechselnde Anionen- und Kationenaufnahme an der Kontaktstelle der Wurzel und des Kalkphosphats glatter verläuft, als wenn der Pflanze Kalkquelle und Phosphorsäurequelle nicht unmittelbar nebeneinander zufließen. Für die Praxis würde das bedeuten, daß wir bei sauren Böden zweckmäßigerweise Rohphosphate anwenden sollten, anstatt übermäßig zu kalken.

Ein zweites Beispiel: Der Boden ist einigermaßen kalkreich, Versuchspflanze Getreide, Nebendüngung alkalisch resp. neutral, die Wirkung von Superphosphat sehr groß. Wie wäre das Resultat bei einer anderen Versuchspflanze resp. bei saurer Nebendüngung ausgefallen?

In der Praxis sind die Verhältnisse bei der Düngung natürlich noch schwerer zu übersehen.

Unsere Erfahrungen in bezug auf die Kunstdüngeranwendung sind sehr jung, 40 Jahre sind eine kurze Spanne Zeit, wenn wir an die Veränderungen denken, die wir bei der großen Masse unseres Bodens durch

betrachtet eine Zusammenstellung von Emmerling[1]), die die verschiedene Ausnutzung von Phosphorsäure und Stickstoff als Düngemittel im Ackerboden demonstriert. Er gibt dort für die Zusammenstellung Superphosphat + Chilesalpeter, resp. Superphosphat + Ammoniumsulfat folgende Mittelzahlen:

Ausnutzung bei Winterkorn.

	bei Sandboden		bei Lehmboden	
	P_2O_5 %	N %	P_2O_5 %	N %
Superphosphat + Chilesalpeter . .	17,2	59	12,2	61
Superphosphat + Ammonsulfat . .	5,4	22	12,5	64

Wir sehen hier die bedeutende Überlegenheit der Kombination Superphosphat + Chile gegenüber Superphosphat + Ammoniumsulfat bei Sandboden. Bei Lehmboden sind diese beiden Kombinationen von etwa gleicher Wirkung gewesen. Ich vermute, daß hier nicht die Frage der Ausnutzung der Phosphorsäure oder auch des Stickstoffs in Frage kommt, sondern daß wir es hier mit einer Frage der physiologischen Reaktion zu tun haben, Superphosphat + Ammoniumsulfat haben die Bodenlösung sauer gemacht; dies tritt beim absorptionsschwachen Sand besonders schädigend in die Erscheinung. Beim Lehmboden dagegen blieb diese Nebenwirkung aus; warum das lösliche Superphosphat im Sandboden seine Phosphorsäurewirkungsfähigkeit verloren haben sollte, wäre doch an sich schlechterdings unerklärlich.

Wir müssen also damit rechnen, daß Veränderungen in unseren Kulturböden vor sich gegangen sind und ständig vor sich gehen. Ich will hier nur ganz kurz die holländischen Beobachtungen, so z. B. die sogenannte moorkoloniale Haferkrankheit erwähnen, dann die Feststellung von Krüger, die sich auf Schädigung infolge alkalischer Reaktion bei Zuckerrüben, Hafer, Senf beziehen. Ist die theoretische Vorstellung, die schon vor zwei Jahren erwähnt wurde[2]) richtig, daß der Prozeß der Ernährung in der Hauptsache in einem Wechselspiel der Ionenaufnahme alkalischer und saurer beruht, daß er also gewissermaßen als ein elektrochemischer Vorgang angesehen werden kann, so sind unsere löslichen Düngesalze auch in der Praxis im freien Felde oft vielleicht nicht in erster Linie Ernährer, sondern sie wirken mehr als Katalysatore oder Arzeneimittel, als Elektrolyten im Allgemeinen oder als Lösungsmittel.

Es sind Fragen von fundamentaler Bedeutung, die man nicht übersehen darf, wenn man die landwirtschaftliche Düngung behandelt. Wir brauchen uns nicht vor Gespenstern zu fürchten wie Liebig sie bei seiner Bodenerschöpfungstheorie übertrieben an die Wand malte oder die alten Befürchtungen von Mulder wieder auftauchen zu lassen, der vor der Anwendung von Kunstdünger warnte, weil man bei derselben seiner Ansicht nach zu viel den Ertrag und zu wenig den Boden ins Auge faßte,

anstatt dafür zu sorgen, daß der Boden auch auf die Dauer zur Kultur geeignet bliebe. Wir wollen die Bedeutung der Reaktionsänderung im Boden nicht überschätzen, denn die neutralisierende Kraft eines guten Ackerbodens ist groß; bei Gefäßversuchen treten die Katastrophen oder die Erfolge der physiologischen Beziehungen spontan auf, im Boden mit seinem hohen Absorptions- und Neutralisationsvermögen spielen diese physiologischen Vorgänge natürlich nicht dieselbe Rolle; aber wir wollen keinen Umstand vernachlässigen, der uns Aufklärung gibt und die Möglichkeit rationelleren Düngens verspricht.

Seit der Anwendung des Kunstdüngers haben wir unserem Boden vielfach die indifferenten Eigenschaften des Platinmohrs auf den Leib geschrieben. Er hatte an den Reaktionen, die sich an seiner Oberfläche abspielten, nicht teilzunehmen. Wir erwarteten von ihm, daß er in gleicher Unberührtheit wie vor der Reaktion wieder auftauchte. Die Geduld unseres Bodens ist groß; wird sie unerschöpflich sein?

Ich möchte hier noch einige Worte über Mitscherlichs mathematische Betrachtungsweise von Pflanzenernährungs- und Düngungsfragen sagen.

Die veränderte mathematische Formulierung des Gesetzes vom Minimum hat unsere Beobachtungen gestrafft und vertieft. Die Vorstellung, daß bei steigenden Nährstoffzugaben der Ertragsaufstieg nicht geradlinig verläuft, hat dem Denken früherer Forscher gewiß schon zugrunde gelegen und erscheint uns, den Zeitgenossen Mitscherlichs, als eine Selbstverständlichkeit.

Schon Adolf Mayer hat in bezug auf den Verlauf dieses Anstiegs einmal an das schöne Goethe-Wort erinnert: „Es ist dafür gesorgt, daß die Bäume nicht in den Himmel wachsen." Mitscherlichs Kurvendarstellung nähert sich gewiß am meisten den natürlichen Bedingungen, und seine Methode, aus einzelnen bekannten Größen die anderen zu berechnen, d. h. aus einzelnen Punkten den ganzen Linienverlauf abzuleiten, hat viel für sich.

Aber Mitscherlich geht einen Schritt weiter. Auf Grund seiner Berechnungen versucht er den verschiedenen Düngemitteln allgemein gültige Wertzahlen zuzuweisen, und zwar unabhängig von der Pflanzenart, zu denen sie verwandt werden.

Diese Wirkungsfaktoren der einzelnen Düngemittel sollen nach Mitscherlich[1]) in einem bestimmten unveränderlichen Verhältnis zu einander bleiben und dieses wird nicht beeinflußt durch irgend einen der anderen Vegetationsfaktoren, sondern haftet den Düngemitteln als solchen an.

In letzter Zeit macht Mitscherlich freilich Einschränkungen[2]), indem er anführt, bei Reaktionsänderung z. B. träten Vergiftungserscheinungen auf, die diese Gesetzmäßigkeit der Wirkung des Düngemittels bei

Schon durch diese Einschränkung, die meiner Ansicht nach der Bedeutung der physiologischen Beziehungen noch lange nicht in genügender Weise gerecht wird, fällt die Gesetzmäßigkeit überhaupt.

Mitscherlich betont selbst die Wichtigkeit des Mazéschen Gesetzes von den physiologischen Beziehungen und fixiert nebenbei einen allgemeingültigen Wirkungswert eines Nährstoffes für die verschiedenen Pflanzen.

Entweder das eine oder das andere. Es ist nicht möglich, hier Brücken zu schlagen. Mir scheint hier dieselbe Diskrepanz vorzuliegen wie bei den beiden Liebigschen Theorien. Einerseits stellte er das Gesetz vom Minimum auf, andererseits forderte er nach jeder Ernte Ersatz des Entnommenen. Hier liegt ebenfalls ein Widerspruch in sich vor, denn wenn nur ein Stoff wirken kann, so bedeutet die Zugabe anderer eine Verschwendung.

Wenn also die mathematische Berechnung des Wirkungswertes eines Nährstoffes unter verschiedenen Bedingungen und bei verschiedenen Pflanzen jedenfalls nicht möglich ist, wie liegt die Möglichkeit der Kurvenberechnung in einem Spezialfall? Nehmen wir z. B. die Berechnung der Wirkung verschiedener Gaben von Trikalziumphosphat bei gleichbleibender Kalkmenge. Nehmen wir an, im angewandten Sande resp. als Grunddünger gegeben, befänden sich 10 g kohlensaurer Kalk. Wird die Mitscherlichsche Kurve unabhängig von dem Verhältnis Trikalziumphosphat zu Kalk verlaufen? Nur dann hat sie Berechtigung. Sie wird es aber ganz gewiß nicht tun, und je nach der Geschwindigkeit des Abfalls der Trikalziumphosphatverwertung durch Kalkgegenwart wird sie ganz verschiedene Gestalt annehmen. Nicht nur die absolute Menge des Trikalziumphosphats wird hier bestimmend sein, sondern das Verhältnis kohlensaurer Kalk zu Trikalziumphosphat wird als bestimmender Faktor nebenherlaufen. Wir hätten es hier also mit zwei Variablen in der Gleichung zu tun. Wir könnten versuchen, diesen Fehler zu korrigieren, indem wir bei steigenden Trikalziumphosphatmengen auch die Kalkmengen steigern, um das Verhältnis konstant zu erhalten, dann laufen wir aber wieder Gefahr, durch zu große Verschiebung der gesamten Konzentration der Bodenlösung resp. der Verhältnisse dieser zwei Stoffe zu den anderen Nährstoffen neue Faktore heraufzubeschwören. Und dann, wo haben wir die absolut neutralen Böden, in welchen der Aufstieg der Kurve nach Mitscherlichs Auffassung völlig gesetzmäßig ist, also den absoluten Normalpunkt darstellt?

Wenn uns unsere natürlichen Böden neutral erscheinen, so liegt das mehr oder weniger an der Unvollkommenheit unserer Prüfungsmethoden, und in bezug auf die von uns zusammengestellten Nährlösungen müssen wir doch bei einiger Aufrichtigkeit zugestehen, daß wir keineswegs in der Lage sind, voraussagen zu können, wie im Verlauf der Nährstoffaufnahme das Verhältnis von Kationen und Anionen zueinander sich verschieben wird. Wie sollen wir also die

Halten wir daran fest, daß der Senf und der Mais, diese zwei charakteristischen Repräsentanten zweier verschiedener Pflanzengruppen, in ihren Ernährungsforderungen grundsätzlich voneinander abweichen und deshalb ein verschiedenes Verhalten dem Trikalziumphosphat im besonderen und den Kalkphosphaten im allgemeinen gegenüber zeigen. Das Weshalb bleibt Geheimnis der Pflanzen. Welche theoretischen Vorstellungen wir uns über diese Tatsachen machen, kann fast als Geschmackssache angesehen werden. Der eine nimmt an, daß infolge alkalischer Reaktion oder Gegenwart von alkalischen Ca-Ionen im Überschuß eine weitere Anionen-Aufnahme, d. h. die Aufnahme von Phosphorsäure aus Kalkphosphaten dem Mais unmöglich gemacht wird, der andere neigt der Anschauung zu, daß der Mais unter diesen Umständen an alkalischer Reaktion zu Grunde geht.

Als Resultat für Theorie und Praxis bleibt die bedeutsame Tatsache bestehen:

Einzelne Pflanzenarten verwerten das Trikalziumphosphat in befriedigender Weise auch bei Gegenwart von Kalk, andere sind dazu nicht imstande.

4. Die Kalkfeindlichkeit der Lupine im Zusammenhang mit der Phosphorsäureaufnahme.

Die Kalkfeindlichkeit der Lupine ist seit Jahren Gegenstand eingehender Untersuchungen. Diese Kalkempfindlichkeit bietet insofern etwas besonderes, als die Schädigungserscheinungen meist in akuter Form auftreten, wieder verschwinden können, zuweilen auch gänzlich ausbleiben, also den Charakter einer unter ganz bestimmten Umständen auftretenden Vergiftung tragen. Im allgemeinen sind wir nicht gewohnt, Kalkwirkungen in so drastischer Form zu beobachten. Die Pflanzen erweisen sich entweder einer Kalkdüngung gegenüber dankbar (wie z. B. Klee, Senf, Raps, Buchweizen) oder gleichgültig oder aber sie bleiben bei Kalkgegenwart im Ertrage zurück (wie z. B. das Getreide).

Die Literatur über die Kalkfeindlichkeit der Lupine ist sehr groß. Den Arbeiten von Pfeiffer verdanken wir die zahlreichsten Beobachtungen auf diesem Gebiete. Eine ausführliche Literaturangabe über die Beobachtungen in der Praxis und bei wissenschaftlichen Versuchen finden wir in einer seiner Arbeiten [1]). Ich beschränke mich hier deshalb nur auf eine Besprechung der Theorien, welche zur Erklärung der Kalkfeindlichkeit der Lupine aufgestellt wurden. Pfeiffer hat eine Fülle von Versuchen ausgeführt, gelangt jedoch, wie er in seiner letzten Arbeit 1919 betont, nicht zu einer ihn befriedigenden Erklärung. In der Arbeit des Jahres 1911 unterscheidet er zwischen allgemeiner Kalkwirkung, die durch eine überreichliche Kalkzufuhr jeglicher Kalksalze hervorgerufen werden könnte und einer speziellen Kalzium-Karbonatwirkung (S. 275), und neigt der Anschauung zu, daß die Lupine besonders alkaliempfind-

wenigstens zum Teil auf Neutralisationsvorgänge der Wurzelsäuren durch kohlensauren Kalk zurückgeführt werden muß.

Die sehr eingehende Abhandlung Pfeiffers aus dem Jahre 1914[1]) zeigt die Schädlichkeit verschiedener anderer Kalkverbindungen, besonders des Gipses, aber auch des Kalziumnitrats, und gelangt zum Ergebnis, daß die Kalkempfindlichkeit der Lupine zum Teil auf eine Überschwemmung mit aufnehmbaren Kalkverbindungen, also auf eine allgemeine Kalkwirkung zurückzuführen ist; auch wird auf die Einbuße der Eisenaufnahme infolge von Kalkstein und Kalziumnitrat und Kaliumnitrat hingewiesen, welche gleichfalls als eine der Faktoren der Kalkschädigung anzusehen wäre.

Im Gegensatz zu den Vermutungen des Jahres 1911 vertritt eine spätere Arbeit[2]) die Anschauung, daß die Lupine im allgemeinen nicht als eine alkaliempfindliche Pflanze anzusehen ist, sondern daß sie im Gegenteil eine alkalisch reagierende Grunddüngung (S. 44 und 45) bevorzugt. Maßnahmen für Bekämpfung (S. 46) der Kalkempfindlichkeit, wie Erhöhung der Phosphorsäure resp. Magnesiagaben, Bespritzen mit Eisensalzlösungen oder Anwendung von Eisenoxyd zur Düngung, erbrachten keine erheblichen Resultate.

In anderer Richtung bewegen sich die Untersuchungen von Creydt und Seelhorst[3]), welche die Anschauung vertreten, daß die Kalkempfindlichkeit der Lupine auf eine Schädigung der Knöllchenbakterien durch Kalk zurückzuführen sei.

Beide betonen den ungünstigen Einfluß, den neben der Kalkdüngung eine Stickstoffdüngung in Form von Chilisalpeter oder Ammoniumsulfat auf die Lupine ausübt. Creydt sieht in der mangelhafteren Knöllchenbildung eine mehr sekundäre Erscheinung, während Seelhorst in der Schädigung der Bakterien durch Kalk das Hauptübel sieht.

Pfeiffer hat Versuche angestellt, durch die er konstatieren konnte, daß der Knöllchenbesatz nicht primär durch Kalk geschädigt wird und daß jedenfalls die Lupinenbakterien durch Kalkzusatz in mäßiger Höhe zur Impferde ihr Infektionsvermögen nicht einbüßen.

Walter Mevius[4]) gelangt zum Resultat, daß bei kalkfeindlichen Sphagnen, bei Sarothamnus scoparius und Pinus pinaster, nicht das Kalzium als solches schade, sondern daß hier eine spezielle schädigende Wirkung der OH-Ionen vorliegt, die er durch Natriumkarbonat und Kaliumkarbonat ebenso hervorrufen konnte. Er vermutet, daß tiefgreifende Hemmungen im Stofftransport stattfinden und bestätigt die Beobachtung von Hiltner, daß Eisenmangel ein sehr wichtiger Faktor bei der Kalkchlorose ist, die durch Bespritzung mit Eisensalzlösung und Zusatz von Eisensalzen zum Boden behoben werden kann.

Kappen[5]) vertritt in einer Arbeit des Jahres 1918 die Anschauung,

[1]) Mitt. des Landw. Inst. Breslau 1914, S. 201.

[2]) Vers.-Stat. 1919, S. 1.

daß der kohlensaure Kalk in erster Linie durch Abstumpfung der ausgeschiedenen Wurzelsäure und der Veränderung der Wasserstoffionenkonzentration der Säfte so schädlich wirkt. In einer späteren Arbeit 1919) konnte er nachweisen, daß die Wasserstoffionenkonzentration der Pflanzensäfte unabhängig von der Azidität resp. Alkalität eines Bodens eine verhältnismäßig konstante bleibt. Versuche, die Kappen mit Eisenlösungen anstellte, ließen ihn der Ansicht zuneigen, daß die Kalkerkrankung der Lupine als eine ganz normale Chlorose infolge von Eisenmangel anzusehen ist.

In letzter Zeit wird zuerst durch Hiltner[1]) und dann durch Merkenschlager[2]) die Ansicht vertreten, daß die Kalkchlorose der Lupine darauf zurückzuführen ist, daß bei Gegenwart von Kalk im Überschuß (S. 299), wenn auch kein absoluter Eisenmangel, so doch eine mangelhafte Dislokation des Eisens eintritt. Es handelt sich nach Merkenschlager um funktionelle Störungen, die den Eisentransport hindern. Die Versuche von Hiltner, durch Bespritzen von chlorotischen Pflanzen mit einer 0,5—1 % Eisensalzlösung die Chlorose aufzuheben, wurde von Merkenschlager mit Erfolg wiederholt.

Nach Merkenschlager kann durch Zusatz von Eisensalzen zum Kalkboden wenig erreicht werden, nur durch Zufuhr von Eisen in die nächste Nähe der verbrauchenden Zelle (Bestreichen der Blätter mit Eisenlösungen) können dieselben zum Wiederergrünen gebracht werden.

Zugleich machte Merkenschlager die Beobachtung, daß die Chlorose der Lupine eine Jugendkrankheit sei, die vor dem Beginn der Ernährung durch Wurzeltätigkeit auftritt, in einem Stadium, wo die junge Pflanze sich noch durch die Reservestoffe der Kotyledonen ernährt. Gerade in dieser Zeit sind die jungen Pflanzen besonders empfindlich gegen Kalk. Merkenschlager sieht den Grund für diese Jugenderkrankung in einer Stoffwechselstörung und zwar in einem Vorherrschen der Stickstoffverbindungen über die Kohlenhydrate; Stickstoffmengen, die nach Creydt, Seelhorst und anderen die Lupinenchlorose erhöhen, müssen naturgemäß diese anormale Eiweißbildung noch weiter fördern. Zufuhr von Kohlenstoffquellen, Eisenlösungen, Magnesiumlösungen erweisen sich nach Merkenschlager als Heilmittel.

Wie die kurze Rekapitulation der zahlreichen Arbeiten über die Kalkempfindlichkeit der Lupine zeigt, bewegen sich die Deutungen über die Gründe derselben auf sehr verschiedenen Richtlinien und bringen des Widerspruchsvollen viel. Die Beobachtungen, die ich über den genetischen Zusammenhang der Nährstoffe Kalk und Phosphorsäure machen konnte, brachten mich auf den Gedanken, daß auch die Kalkschädigung bei der Lupine in dieses Gebiet fallen könnte. Ich sprach deshalb schon in einer früheren Arbeit die Vermutung aus, daß die Kalkempfindlichkeit der Lupine in einer Ernährungsstörung dieser Art, d. h. in einer Behinderung

der Phosphorsäureaufnahme durch Gegenwart leicht löslicher oder physiologisch alkalischer Kalksalze (also besonders $Ca(NO_3)_2$ oder $CaCO_3$) ihre Erklärung finden könnte.

Diese Vermutung ist nun durch Versuche nachgeprüft worden, die eine Bestätigung dieser Annahme zu erbringen scheinen. Der Grundgedanke der Versuche war folgender: Wenn wir dafür sorgen, daß die Phosphorsäureaufnahme während der ganzen Zeit der Ernährung der Lupine normal verläuft, so wird sich die Gegenwart geringerer und auch größerer Kalkmengen nicht mehr als so schädlich erweisen. Bei einer in einem phosphorsäurearmen Boden wachsenden Lupine wird diese Kalkempfindlichkeit besonders drastisch auftreten, genügende Stickstoff- und besonders Kaliernährung, besonders in saurer Form, wird die Sache schon verbessern, unter der Wirkung einer ausreichenden Menge von Phosphorsäureionen in der Bodenlösung wird diese Kalkempfindlichkeit vielleicht ganz verschwinden. Es wurde also als Phosphorsäuredüngung in einem Falle das schwerlösliche physiologisch-alkalische Trikalziumphosphat benutzt, dann das gleichfalls schwerlösliche, aber kalkfreie und physiologisch neutrale Ferrophosphat, das leichtlösliche aber alkalische Dinatriumphosphat und endlich freie Phosphorsäure und zwar nicht die ganze Menge (0,6 g pro Gefäß) im Anfang gegeben, da in diesem Fall im Boden allmählich bei Gegenwart von kohlensaurem Kalk eine vollständige Umwandlung in Trikalziumphosphat hätte eintreten können, sondern die freie Phosphorsäure wurde während der ganzen Vegetationszeit in geringen Gaben (je 0,05 g) alle paar Tage zugleich mit dem Gießwasser zugegeben, wodurch den Wurzeln der Pflanzen immer wieder freie Phosphorsäureionen zur Verfügung gestellt wurden.

Anordnung, Ertrag und Kalkphosphorsäurefaktor beim Lupinenversuch.

Kalkzugabe	Ungedüngt		Volldüngung ohne P_2O_5		Volldüngung mit Trikalziumphosphat		Volldüngung mit Ferrophosphat		Volldüngung mit Di-Natriumphosphat		Volldüngung mit freier Phosphorsäure	
	Ertrag	CaO/P_2O_5-Faktor	Ertrag	CaO/P_2O_5-Faktor	Ertrag	CaO/P_2O_5-Faktor	Ertrag	CaO/P_2O_5-Faktor	Ertrag	CaO/P_2O_5-Faktor	Ertrag	CaO/P_2O_5-Faktor
0	34,3	14	26,8	12	45,8	11	37,4	10	37,4	12	45,5	10
5 g $CaCO_3$	31,5	18	30,0	18	31,5	17	39,6	12	40,1	15	46,7	12
20 g „	9,3	34	14,0	30	15,9	27	19,5	30	23,0	21	30,2	12
10 g Gips	22,9	18	24,7	15	37,4	13	37,2	11	42,1	13	33,5	11

Die gewonnenen Resultate ergeben ein ziemlich klares Bild. Freilich sind die wahrscheinlichen Schwankungen[1]) recht beträchtlich und zwar teils wegen der Anwendung von nur zwei Parallelgefäßen, besonders aber wegen der physiologischen Kalkschädigungen, die wie es in der Natur solcher Vergiftungserscheinungen liegt, nicht überall in gleichem Ausmaß auftreten, endlich ging auch der Knöllchenbesatz wie es schien nicht gleichmäßig vor sich ...

Habitus der Pflanzen wie auch die großen Differenzen im Ernteertrage Schlußfolgerungen zu.

Im allgemeinen können wir sagen, daß trotz der Nährstoffarmut der angewandten Bodenmischung eine Düngung von sehr geringem Erfolge begleitet wurde, in allen Gruppen, wo die starke Kalkung unterblieben war. Es läßt sich sogar von ungedüngt zu Volldüngung ohne Phosphorsäure ein kleiner Abfall konstatieren, was wohl entweder auf die physiologisch saure Nebenwirkung der Hallenser Mischung und des Ammoniumnitrats zurückzuführen ist, wahrscheinlich aber auf die schädigende Wirkung der Stickstoffdüngung an und für sich. Stickstoff und Kali scheinen jedenfalls nicht im Minimum gewesen zu sein, sondern, wenn auch in geringem Grade, die Phosphorsäure. Es scheint, als sei die Bodenmischung an und für sich für das Bedürfnis der Lupine eher zu kalkarm gewesen, denn 5 g kohlensaurer Kalk haben fast überall eine wenn auch geringe Ertragssteigerung bewirkt. Das Bild verändert sich aber gänzlich, sobald eine hohe Kalkgabe (20 g) gegeben wird. Diese wirkt auf dem ungedüngten Boden verheerend und drückt den Ertrag von 34 g auf 9 g, also auf etwa $^1/_4$ herab, auch eine N- und K_2O-Gabe (also Volldüngung ohne Phosphorsäure) vermögen hier keine wesentliche Besserung zu schaffen. Es folgt nun die Gruppe Volldüngung mit Trikalziumphosphat. Das Trikalziumphosphat hat bei Kalkabwesenheit sehr günstig gewirkt, günstiger als die anderen Phosphate, wohl gerade auch, indem es die, wenn auch geringe, so doch vorhandene Kalkbedürftigkeit des Bodens befriedigte. Doch schon die 5 g kohlensauren Kalk bewirken einen jähen Ertragssturz von 46 auf 32 und bei Gegenwart von 20 g Kalk sinkt der Ertrag auf 16. Bei Düngung mit Ferrophosphat ist die schädliche Wirkung des Kalkes schon bedeutend abgeschwächt, 5 g kohlensaurer Kalk haben eher genützt, 20 g erniedrigten die Ernte von 37,4 auf 19,5. Das leichtlösliche Natriumphosphat versorgte die Pflanzen in befriedigender Weise mit Phosphorsäure, doch seiner alkalischen Reaktion gemäß, bewirkte auch bei ihm der kohlensaure Kalk eine deutliche Depression von 37,4 auf 23,0. Nun folgt die freie H_3PO_4. Die geringe Kalkgabe hat hier genützt, die hohe Kalkgabe konnte die Phosphorsäureaufnahme hier nicht unterbinden, da durch das ständige Gießen mit kleinen Mengen Phosphorsäure, stets freie Phosphorsäureionen in der Lösung vorhanden waren. Hier sinkt der Ertrag nur von 45,5 auf 30,9, ja eines der Gefäße erreichte mit 35,5 den Stand der ungekalkten normalen (z. B. die mit Ferro- resp. Na-Phosphat gedüngten) Pflanzen, wie dies auch auf der photographischen Aufnahme zum Ausdruck kommt. Vergleicht man freilich die mit freier H_3PO_4 gedüngten Gruppen mit und ohne Kalk untereinander, so merkt man auch hier ein Sinken des Ertrages mit steigendem Kalkgehalt des Bodens. Dies kann nicht Wunder nehmen. Eine ausreichende Phosphorsäureversorgung konnten wir bei Überschuß

gehalt dieser beiden Stoffe in der Asche. Diese hohe Nährstoffkonzentration ist nicht natürlich und könnte vielleicht an sich schon den Gesamtertrag senken.

Der Gips hat im allgemeinen weniger geschadet als kohlensaurer Kalk, doch da wir nicht äquimolekulare Kalkmengen gegeben haben, so ist ein direkter Vergleich mit kohlensaurem Kalk nicht möglich. Bei den ungedüngten Pflanzen, den ohne Phosphorsäure belassenen und den mit freier H_3PO_4 behandelten Pflanzen hat der Gips scheinbar mehr geschadet, vielleicht hier zum Teil auch infolge seiner physiologisch sauren Reaktion.

Der Kalkphosphorsäurefaktor zeigt die bekannten charakteristischen Schwankungen je nach den Ernährungsbedingungen. Er steigt in die Höhe (zirka 20—30) bei Kalküberschuß und unzureichender Phosphorsäureernährung; er hält sich auf normaler Höhe (zirka 11) auch bei großem Kalküberschuß, sobald für genügende Phosphorsäurezufuhr gesorgt wurde.

In diesem Sommer wurden mir aus einem landwirtschaftlichen Betriebe, wo die Lupine schlecht gedeiht, einige kränkliche Pflänzchen zugesandt. Die Ascheanalyse ergab, daß ein Gehalt von 1,53 % CaO gegen 0,26 % P_2O_5 vorlag. Der Kalkphosphorsäurefaktor ergab 15, also eine relativ hohe Verhältniszahl. So große Schwankungen wie bei Vegetationsversuchen sind bei Pflanzen, die unter natürlichen Bedingungen im Felde wachsen, nicht zu erwarten.

In der umfangreichen Literatur über die Kalkempfindlichkeit der Lupine ist hier und da die Vermutung aufgetaucht, daß es sich hierbei auch mit um die Phosphorsäurefrage drehen könnte. Bekanntlich hat Schultz-Lupitz als erster die schädliche Wirkung einer überreichen Mergeldüngung durch starke Kainitanwendung bekämpft[1]) und sogar Lupinen dadurch wieder zu freudigem Wachstum veranlaßt. Im Jahre 1892 erwähnt Keferstein-Wola, daß er in einem kalkreichen Sandboden (Jura-Kalkmergel) schöne Lupinen beobachtet habe und knüpft daran die Erklärung, daß die Lupine auch auf einem kalkreichen Boden gedeihen könne, falls entsprechend viel Phosphorsäure und Kali im Boden vorhanden seien. 1902 hat Déhérain[2]) die Kalkfeindlichkeit der Lupine mit Erfolg durch Kaliumphosphatzugabe bekämpft. Man ist vielfach geneigt gewesen, die Wirkung mehr auf Konto des Kalis zu setzen. Déhérain selbst sagt auf einer Stelle, es scheine, als sei es die Verhinderung der Phosphorsäureassimilation, durch welche der Kalk besonders schädlich ist.

In seiner Arbeit von 1914 faßt auch Pfeiffer[3]) diesen Faktor ins Auge, wenn er auf Seite 232 das Sinken des Phosphorsäuregehalts der Lupine unter dem Einfluß von Kalkstein und Kalknitrat erwähnt, dann fügt er aber hinzu, es erscheine ihm unwahrscheinlich, daß bei der von ihm gewählten sehr hohen Phosphorsäuredüngung Phosphorsäuremangel Grund der Kalkempfindlichkeit gewesen sein könne.

Ich möchte bei der Betrachtung dieser wichtigen und komplizierten

Frage mich **Pfeiffers** Meinung anschließen, wenn er davor warnt, für die Kalkfeindlichkeit der Lupine einen einzigen Faktor verantwortlich zu machen [1]). Besonders die Frage der Bakterienentwicklung scheint für das freudige Wachstum und den schließlichen Ernteertrag eine sehr große Rolle zu spielen, ob der Knöllchenbesatz aber primär durch den Kalk oder sekundär durch das infolge Kalkgegenwart gestörte Wachstum der Lupine beeinflußt wird, darüber liegen doch bis jetzt keine endgültigen Resultate vor. Daß die Neutralisation der Wurzelsäure durch den kohlensauren Kalk eine so verhängnisvolle Rolle spielen könnte, erscheint mir unwahrscheinlich, wenn wir die überaus geringen Mengen dieser Säuren ins Auge fassen, gering gegenüber den Kalkmengen, die stets im Boden vorhanden sind, gering auch im Verhältnis zu den Säuremengen, die eine Pflanze durch die Nährstoffaufnahme während ihres Wachstumsprozesses in Freiheit zu setzen vermag. So verbrauchten z. B. 4 kräftig wachsende Maispflanzen in einem Gefäß von 6,5 k Sand — 4,715 g Ammoniumsulfat und 1,85 g Kaliumsulfat, wobei sie also insgesamt ca. 4,5 g Schwefelsäure in Freiheit setzten. Können angesichts dieser Säuremengen die wenigen mg organischer Wurzelsäuren, die die Pflanze zu liefern imstande ist, eine beträchtliche Rolle spielen [2])? Alkalische Reaktion oder Überschwemmung mit leichtlöslichen Kalksalzen kann die Lupine aber durchaus daran hindern, Kalkphosphate aufzunehmen; durch Beseitigung dieses Übelstandes, also energische Unterstützung der Phosphorsäureernährung, gelingt es uns, diese Kalkfeindlichkeit der Lupine erfolgreich zu bekämpfen.

Ich wiederhole hier nochmals, daß diese Art der Bekämpfung erst dann einsetzen kann, wenn die Pflanzen erst glücklich ins Stadium der Nährstoffaufnahme durch die Wurzeln gelangt sind. Die Erkrankungserscheinungen, die **Merkenschlager** beschreibt und die auch wir in reinen Sandkulturen bei Gegenwart von Kalk in wirksamer Form konstatieren konnten, treten im ersten Jugendstadium der Pflanzen auf, solange dieselben sich scheinbar noch mit Hilfe der Reservestoffe in ihren Cotyledonen ernähren. **Mevius** [3]) beschreibt Versuche von **Büsgen** mit Sarothamnus scoparius, aus denen hervorgeht, daß die genannte Pflanze auf einem kalkreichen Boden wohl gedeihen kann, daß sie aber in ihrer Jugend eine Schwächung durchzumachen hat. Die an der Lupine beobachteten sehr schweren Früherkrankungen sind zum Teil wenigstens durch Bespritzen mit Eisenchlorid zu bekämpfen, wie **Hiltner** und **Merkenschlager** angeben. Die von **Merkenschlager** beschriebenen Krankheitserscheinungen haben wir auch beobachten können. Das Verbleichen und Absterben der Fliederblättchen setzte beim zweiten Laub-

---

[1]) l. c. 1911 S. 307.

[2]) **Baumann** und **Gully** (Mitt. d K. B. Moorkulturanstalt (1909 und 1910) 43, S. 52, 44, S. 31) sprechen es aus, daß keine erheblichen Mengen freier organischer Säuren in den [illegible]

blattpaar ein. Die Keimblätter und das erste Laubblattpaar zeigten diese Erscheinung nicht, besonders die Cotyledonen schwer erkrankter Pflanzen behielten auffallend lange ihr lebhaftes Grün, die feste Struktur und wie es schien auch ihre Reservestoffe. Ob in der Natur diese sehr schwere und frühzeitige Form der Erkrankung eintritt, darüber fehlen mir die Erfahrungen in der Praxis. Bei Anwendung von Ackerboden, dem ich Kalk in verschiedenen Dosen zugab, habe ich nur die später auftretende Form der Erkrankung beobachten können. Vielleicht hat trotzdem in der Jugend eine kaum sichtbare Schwächung stattgehabt, die sich später in vermindertem Ertrage dokumentierte. Deutlich trat eine Schwächung durch Kalk erst zur Zeit der Nährstoffaufnahme durch die Wurzeln in die Erscheinung und durch eine gesteigerte Phosphorsäureernährung ließ sich dieselbe wirksam bekämpfen.

Bei Sandkulturen, die später einmal besprochen werden sollen, ist es mir nicht geglückt, die schweren Früherkrankungen durch Bespritzen mit Eisenchloridlösung ganz zu heilen, wohl aber gelang mir dies durch Düngung mit Eisenphosphat. Während andere Eisenchloridlösungen dem Boden zugegeben, auch Merkenschlager zufolge, das Übel nicht beheben, scheint dem Eisenphosphat diese Fähigkeit in hohem Maße innezuwohnen.

5. Die Anwendung nicht kalkhaltiger Phosphate.

Die Beobachtungen führen uns allmählich zu folgendem logischen Schluß: Die Phosphorsäureaufnahme aus Kalkphosphat steht in genetischem Zusammenhang mit dem Kalkgehalt des Bodens und mit dem Kalkbedürfnis der Pflanzen. Zwischen den beiden Nährstoffen Kalk und Phosphorsäure besteht das Prinzip der Polarität wie wir es ja überall da antreffen, wo Gesetzmäßigkeit besonders aber Leben, jene vornehmste Form der Gesetzmäßigkeit zustande kommt.

Wir konnten konstatieren, daß eine bestimmte Gruppe von Pflanzen, alle kalkliebenden, die Kalkphosphate in hervorragender Weise verwertet; die kalkfliehenden tun dies in nur unvollkommenem Grade. Und doch schien sich uns hier ein bedeutender Widerspruch gegenüber den praktischen Erfahrungen aufzutun. Gerade diejenigen Pflanzen, welche Kalkphosphate gut verwerten, die wir deshalb in einer früheren Arbeit als Phosphorsäureaufschließer bezeichneten, erweisen sich bei unseren Versuchen als besonders dankbar für Phosphorsäuredüngung. Das brachte uns zur Frage: Ist denn die Phosphorsäure im Boden lediglich oder wenigstens in der Hauptsache als Kalkphosphat vorhanden? Müßten dann nicht alle Getreidearten nach Phosphorsäure geradezu schreien? Wie steht es mit Aluminium- und Eisenphosphaten, von denen meist behauptet wird, sie seien für die Pflanzen schlecht brauchbar? Wie steht es mit dem Magnesium-Phosphat?

oder in Form natürlich vorkommender Mineralien. (Anordnung siehe S. 71 und Tabelle 18—23, sowie Tafel II Abb. 4 und 5.)

Wir konnten feststellen, daß entgegen der oft ausgesprochenen gegenteiligen Meinung Eisen- und Aluminiumphosphate sehr gut von den Pflanzen verwertet werden und zwar von den Repräsentanten verschiedener Gruppen in etwa gleicher Weise. Geprüft wurden: Roggen, Hafer, Mais, Wicken, Buchweizen, Senf, Lupine. Anwesenheit von Kalk stört diese Ausnutzung gar nicht oder doch nur in geringem Grade. In einigen Fällen hat bei der Ausnutzung sehr schwerlöslicher Phosphatquellen das Kalziumkarbonat sogar anscheinend aufschließend gewirkt, so z. B. bei geglühtem Eisenphosphat, bei Vivianit, Raseneisenstein, Wagnerit zu Senf, Mais, Roggen. Dieselben Kalkmengen hätten je nach der Pflanzenart die Verwertung von Kalkphosphaten gehindert, resp. ganz in Frage gestellt. Aluminium- und Eisenphosphate in frisch gefälltem, resp. bei gewöhnlicher Temperatur getrocknetem Zustande, stellen somit recht gute Phosphorsäurequellen für die Pflanzen dar. Durchs Glühen büßt das Aluminiumphosphat nur wenig von seiner Wirksamkeit ein; geglühtes Eisenphosphat ist fast unwirksam. Dagegen erweisen sich die natürlichen Eisenmineralien, wie die Blaueisenerde oder der Vivianit und die Raseneisenerde, als recht befriedigende Phosphorsäurequellen; sie sind etwa dem Trikalziumphosphat gleichzustellen, nur mit dem großen Vorzug, daß sie durch Kalkgegenwart nicht an Wirksamkeit einbüßen. Das Wavellit, das natürliche Aluminiumphosphat, ist lange nicht so gut verwertbar; verhältnismäßig gut wird es vom Senf verwertet.

Nun das Magnesiumphosphat. Dieses hat die interessantesten Resultate ergeben. Wir scheinen es im Magnesiumphosphat mit einem geradezu drastischen Phosphorsäure-Mittel zu tun zu haben. Schon kleine und kleinste Mengen desselben wirken in überraschender Weise; es ruft eine große Wachstumsbeschleunigung hervor und kann, soweit man die Resultate bis jetzt übersehen kann, unter Umständen nahezu vollständig von der Pflanze verbraucht werden, so bei einem Versuch zu Buchweizen; dieses ist eine durchaus beachtenswerte Eigenschaft. Bekanntlich haben wir in der Praxis mit den bisher bekannten Kalkphosphaten eine durchschnittliche Ausnutzung von zirka 10 % erreicht, nach Emmerling[1]) etwa 4—17 %, wechselnd je nach Bodenart, Pflanze und Nebendüngung. Hoffmann stellt bei 100 Einzelversuchen etwa die gleichen Ausnutzungskoeffizienten fest. Bei Vegetationsversuchen erhält man unter optimalen Wachstumsbedingungen natürlich eine bessere Ausnutzung von Phosphorsäuredüngungen. Bei Vegetationsversuchen in Hohenheim haben wir die Ausnutzung auch des löslichen Dikalziumphosphats nur wenig über 30 % gebracht. Maercker gelangt zu ähnlichen Ausnutzungszahlen. Lange, Seelhorst und Tollens[2]) bewiesen die Abhängigkeit der Phosphorsäureausnutzung von der Höhe der Wassergabe. Zu ungewöhnlich hohen Aus-

nutzungszahlen ist Pfeiffer[1]) gelangt, als er die in Form von Dikalziumphosphat dargebotene Phosphorsäure bis zu 75 % in der Hafferernte wiederfand.

Die drastische Wirkung des Magnesiumphosphats kann bei einzelnen Pflanzen direkt zu Schädigungen führen. So ruft das Magnesiumphosphat in frisch gefälltem Zustande beim Senf Habitusveränderungen besonderer Art hervor, wir erhalten durch krankhafte Verkürzung der Internodien Rosettenpflanzen absonderlichen Aussehens; das getrocknete Magnesiumphosphat wirkt weniger schädigend auf den Senf ein und das geglühte hat seine schädigende Wirkung ganz verloren. Besonders ins Auge springend ist die kolossale Wirkung des Magnesiumphosphats bei den Getreidearten, bei denen es große Wachstumsbeschleunigung und sehr erhöhten Körneransatz hervorruft. Bekanntlich ist der Magnesiagehalt in den Getreidekörnern ein ganz beträchtlicher. Ascheanalysen zeigen ein deutliches Sinken des Kalkgehalts und ein starkes Steigen des Phosphorsäuregehalts. Daher die an Schädigung grenzende Wirkung auf kalkliebende Pflanzen bei Abwesenheit von Kalk und die außerordentlich günstige Wirkung auf Getreidearten, für die ein Zuviel an Kalk im Boden stets eine Gefahr bedeutet.

a = ohne $CaCO_3$
b = 5 g $CaCO_3$

Verschiedene Phosphate.

		Senf				Mais			
		Ertrag g	$CaO : P_2O_5$ % i. d. Asche	P_2O_5 % Ausnutzung	CaO/P_2O_5 Faktor	Ertrag g	$CaO : P_2O_5$ % i. d. Asche	P_2O_5 % Ausnutzung	CaO/P_2O_5 Faktor
Ohne P_2O_5	a	2	2,84 : 0,22	—	32	5	1,5 : 0,17	—	22
	b	2	2,46 : 0,17	—	34	3	1,4 : 0,12	—	30
Trikalziumphosphat	a	26	1,8 : 0,64	28	7	94	0,74 : 0,12	20	16
	b	22	3,3 : 0,31	10	17	3	2,10 : 0,16	—	—
Aluminiumphosphat: Frisch gefällt	a	30	2,0 : 0,60	30	8	137	0,68 : 0,14	32	12
	b	31	2,6 : 0,52	27	13	132	0,73 : 0,16	35	12
Aluminiumphosphat: Geglüht	a	26	2,6 : 0,41	17	16	116	0,93 : 0,12	23	20
	b	27	2,6 : 0,37	17	18	89	1,15 : 0,15	22	19
Aluminiumphosphat: Mineral	a	10	2,6 : 0,18	3	37	25	1,0 : 0,21	9	12
	b	11	3,1 : 0,21	4	37	23	0,94 : 0,19	7	13
Eisenphosphat: Frisch gefällt	a	27	2,2 : 0,52	24	11	136	0,85 : 0,15	33	14
	b	27	2,2 : 0,55	25	10	124	0,75 : 0,16	36	12
Eisenphosphat: Geglüht	a	5	3,7 : 0,21	2	44	16	1,75 : 0,22	6	20
	b	6	3,2 : 0,18	2	45	23	1,03 : 0,13	3	20
Eisenphosphat: Mineral	a	21	3,1 : 0,36	13	22	64	1,09 : 0,15	17	19
	b	21	3,5 : 0,37	13	24	56	0,94 : 0,15	12	16
Magnesiumphosphat: Frisch gefällt		2	7,5 : 1,60	—	2	190	0,31 : 0,22	70	4
Magnesiumphosphat: Getrocknet	a	6	1,3 : 1,2	12	3	199	0,44 : 0,16	53	7
	b	9	1,9 : 1,4	21	4	199	0,35 : 0,16	53	5
Magnesiumphosphat: Geglüht	a	29	2,0 : 0,89	43	6	153	0,70 : 0,20	51	9
	b	29	2,5 : 0,74	36	8	140	0,70 : 0,19	44	9
Magnesiumphosphat: Mineral	a	17	3,8 : 0,31	7	31	7	1,24 : 0,15	2	21

Es ist Tatsache, daß wir bis jetzt zur Düngung in ausschließlicher und ziemlich einseitiger Weise Kalkphosphate verwandt haben. Die Herstellung dieser Phosphorsäureverbindungen bereitete die geringsten Kosten und Schwierigkeiten, da sie ja die Grundlage der meisten Ausgangsmaterialien bilden. Wir haben an dieser Art Düngung festgehalten, trotzdem es uns lange bekannt war, daß nur ein kleiner Teil der Phosphorsäure ausgenutzt wurde und daß bei Gegenwart größerer Mengen von Kalk die Ausnutzung auch dieses kleinen Teiles herabgedrückt oder verhindert wurde. Die neusten Untersuchungen der letzten Jahre erweiterten unsere Erkenntnisse in dieser Hinsicht, wir sahen, daß ein Teil unserer Kulturpflanzen, und zwar unsere wichtigsten, die Getreidearten, Kalkphosphate ganz mangelhaft verwerten, wir lernten es, unsere Aufmerksamkeit immer mehr auf die für die Ernährungsfragen so wichtige Bodenreaktion zu richten. Alle diese Beobachtungen führten dazu, die Rolle des Kalkes in chemischer Beziehung, nämlich im Hinblik auf die Phosphorsäureverwertung als eine wenig günstige erscheinen zu lassen. Andererseits können wir des Kalkes nicht entbehren; für einen Teil unserer Kulturpflanzen ist er als Nährstoff wichtig, für die physikalische und bakterielle Bodenverbesserung ist er direkt unentbehrlich. Es liegt auf der Hand, daß wir in gewissen Fällen gut tun würden, andere Phosphorsäureverbindungen als das Kalkphosphat zur Düngung zu verwerten.

An ein Phosphat als Düngemittel müssen folgende Anforderungen gestellt werden:

1. Es muß soweit löslich resp. zugänglich sein, daß es von der Pflanze gut verwertet werden kann.
2. Es darf nicht zu wasserlöslich sein, denn in diesem Falle könnte sogar Auswaschung, jedenfalls aber der Übergang der freien PO_4-Ionen in Trikalziumphosphat oder andere schwerlösliche Verbindungen erfolgen, resp. eine Absorption der Phosphorsäure durch den Boden und Überführung in eine den Pflanzen nicht zugängliche Form. Dieses letztere ist eine bis jetzt noch recht dunkel erscheinende Frage.
3. Das Phosphat muß in einer Form vorliegen, bei der die unausbleibliche Gegenwart von Kalk die Wirksamkeit nicht behindert.

Die Phosphorsäureverbindungen des Eisens — Aluminium — besonders aber des Magnesiumphosphats scheinen diese Eigenschaften zu besitzen. Wie weit und wie schnell diese Phosphate im Boden, besonders in kalkreichem, Umwandlungen erleiden, kann natürlich nur durch jahrelange Feldversuche entschieden werden. Die vorhin angeführten theoretischen Voraussetzungen und Forderungen erfüllen diese Phosphate in befriedigender Weise. Vornehmlich das Magnesiumphosphat scheint in dieser Hinsicht ein ganz hervorragendes Düngemittel darzustellen, und zwar wirkt es besonders schnell und kann in kurzer Zeit fast völlig von der

Lupine angewandt werden kann. Es könnte vielleicht durch Anwendung von Eisenphosphaten, am besten in saurer Form, gelingen, diese volkswirtschaftlich so wichtige Pflanze auf Böden anzubauen, die bis jetzt als nicht geeignet dazu erschienen. Das Magnesiumphosphat bietet große Vorteile bei der Düngung der Halmfrüchte, welche die Kalkphosphate besonders bei Gegenwart von anderen Kalksalzen nur unvollkommen oder gar nicht ausnutzen. Die Ersparnis an Phosphorsäure, die im Deutschen Reiche dadurch erzielt werden könnte, scheint beträchtlich.

Zur technischen Gewinnung des Magnesiumphosphats wären zwei Wege denkbar. Entweder Herstellung aus den Abfallsalzen der Kaliindustrie, oder aber Anwendung dolomitischen Mergels bei dem Bessemerprozeß. Freilich ist es die Frage, wieweit sich dabei Mg-Phosphate bilden und ob nicht ihre Verwertbarkeit durch den hohen Glühprozeß gelitten hat. Inwieweit die verhältnismäßig gute Verwertbarkeit, besonders aber die lange Nachwirkung des Thomasmehls, vielleicht zum Teil auch auf Gegenwart von Eisen-, Aluminium- und Magnesiumphosphaten zurückzuführen ist, ist eine interessante Frage.

Wir müssen annehmen, daß die Verwertung von Rohphosphaten mit verschiedenen Kationen: Kalk-, Aluminium-, Eisen, Magnesium gewiß je nach dem Bedürfnis der einzelnen Pflanzen für die betreffende Base eine verschiedene sein wird. Alle kalkliebenden Pflanzen werden die Kalkphosphate gut aufschließen und eine besondere Vorliebe für sie zeigen. Diese Pflanzen verwerten sowohl das Kation wie das Anion und deshalb brauchen keine physiologischen Reaktionsänderungen und Schädigungen durch den zurückbleibenden Basenanteil, das CaO, aufzutreten. Die Getreidearten, deren Magnesiumbedürfnis ein beträchtliches ist, zeigen deshalb ein besonders gutes Verwertungsvermögen für Magnesiumphosphate. Andere Pflanzen werden vielleicht eine spezifische Vorliebe für Aluminium- und Eisenphosphat zeigen. Das Getreide hinterläßt bei Darbietung von Trikalziumphosphat freies CaO, ruft dadurch alkalische Reaktion hervor und wird geschädigt, der Senf wiederum wird bei der Verwertung von Magnesiumphosphat wahrscheinlich freies MgO zurücklassen, und hierbei Schädigung durch alkalische Reaktion erfahren resp. an Kalkmangel leiden.

Aus einem Boden mit einem bestimmten Gehalt an wirksamen Kalkverbindungen werden Senf, Buchweizen, die Leguminosen noch imstande sein, die natürlich vorhandenen oder künstlich ihnen zugeführten Kalkphosphate auszunutzen. Die Halmfrüchte werden in solch einem Boden zu ihrer Ernährung freie P_2O_5-Ionen verlangen, wie sie eine Düngung durch Superphosphat, vielleicht auch Thomasmehl liefert, oder sie werden andere Verbindungen ausnutzen, wie Magnesium-, Eisen-Aluminiumphosphate.

Die Anzahl der Böden, in welchen wir für Getreide Trikalzium-

Erfolg richtet sich also nach dem Verhältnis: Kalkphosphate zu wirksamen alkalischen Kalkverbindungen. Durch Kalkphosphatüberschüsse werden wir also unter Umständen Ertragssteigerungen hervorrufen, die wenig mit der allgemeinen sogenannten Phosphorsäurebedürftigkeit eines Bodens zu tun haben, sondern diese Kalkphosphatüberschüsse müssen gegeben werden, um das Verhältnis Kalkphosphat zu kohlensaurem Kalk zugunsten des ersteren zu verschieben, oder anders ausgedrückt, um den Kalkwiderstand zu heben. Das verschiedene Nährstoff- und Düngebedürfnis bei den einzelnen Pflanzenarten könnte vielleicht auch durch deren verschiedenes Verwertungsvermögen für Kalk-, Magnesium-, Eisen- und Aluminiumphosphate erklärt werden.

Fragen wir uns nun, wie wir uns den Vorgang der Zersetzung irgend welcher schwerlöslicher Phosphatverbindungen (Kalk, Aluminium, Eisen, Magnesium) durch die Pflanzenwurzeln zu denken haben, so sind meiner Ansicht nach hier zwei Erklärungen denkbar.

1. Die Pflanzen nehmen freilich die Nährstoffe immer nur in Form freier Ionen aus den Bodenlösungen auf, aber bei den kalkliebenden werden die gelösten Ca-Ionen sofort verbraucht und die Lösung und Dissoziation der Kalkphosphate kann weitergehen, bei kalkfliehenden Pflanzen dagegen häufen sich allmählich die Ca-Ionen in der Lösung im Verhältnis zu den PO_4-Ionen und eine weitere Lösung und Dissoziation von Kalkphosphaten wird unterbrochen. Ganz ähnliche Erscheinungen können wir ohne Einwirkung der Pflanzen beobachten, wenn wir uns verdünnte Lösungen von Trikalziumphosphat bei Gegenwart resp. Abwesenheit von kohlensaurem Kalk herstellen.

2. Die zweite Erklärung für die verschiedene Verwertung schwerlöslicher Phosphate könnte folgende sein:

Durch die Wurzelfäden der Pflanzen wird ein Phosphatteilchen ergriffen und je nach dem Basenbedürfnis vollständig oder nur teilweise verbraucht. Vom Senf wird also ein Kalkphosphatteilchen restlos assimiliert, vom Getreide ein Magnesiumphosphatteilchen, ohne daß in diesen zwei Fällen ein alkalisch wirkender pflanzenschädigender Basenanteil hinterbleiben müßte.

Wahrscheinlich spielen bei dem Ernährungsprozeß diese beiden Möglichkeiten eine Rolle.

Im Sinne dieser Beobachtungen erkläre ich mir auch die Bedeutung des Loew'schen Kalk-Magnesium-Faktors, auf den ich jetzt zu sprechen komme.

Es ist ohne weiteres klar, daß bei einem so komplizierten und zweckmäßig eingerichteten Organismus, wie ihn die Pflanze darstellt und bei der Bedeutung, die den Mineralstoffen bei dem Ernährungsprozeß zufällt, nicht nur die Anwesenheit eines Elementes an sich genügt, daß nicht nur seine elektrochemische Form dabei von Wichtigkeit ist, sondern daß auch

hältnisse der Nährlösungen bei der Pflanzenernährung leugnen. Bei der Aufnahme, Wanderung und Verteilung der Stoffe werden gewiß solche Bedingungen auftreten können, die wir als optimale bezeichnen dürfen und es werden zwischen den einzelnen optimalen Mengen Quantitätsunterschiede bemerkbar sein, die Hansten als Intervalle bezeichnet. Eine harmonische normale Entwicklung fordert gewiß eine nicht zu große Abweichung von diesen optimalen Verhältnissen.

Einseitig gereichte Ionen in Nährlösungen können giftig wirken; zwei einzeln für sich giftig wirkende Ionen können, gleichzeitig dargeboten, diese Giftwirkungen aufheben, so z. B. Kalium und Magnesium, Kalzium und Magnesium. Diese Beobachtungen sind zunächst für die Berechnung der einseitigen Ionenkonzentration in Nährlösungen von Bedeutung; sollte es gelingen, bestimmte Konzentrationen und bestimmte Verhältnisse der Nährstoffe zueinander als optimale feststellen zu können, so ließe sich danach vielleicht eine Methode finden, um aus den Konzentrations- und -Nährstoffverhältnissen einer natürlichen Bodenlösung auf die Ertragsfähigkeit und das Düngebedürfnis eines Bodens zu schließen. Bekanntlich weichen die Bodenlösungen der verschiedensten Bodenarten, welche die Fähigkeit besitzen eine Pflanzendecke zu tragen, nicht so stark voneinander ab, wie man wohl früher anzunehmen geneigt war. Dies haben die Analysen von Whitney gezeigt, die er an hunderten von Böden in Amerika ausführte. Er fand nur sehr geringe Unterschiede in Konzentration und Zusammensetzung der Nährstoffe bei den sandigen Böden der Flußufer, der fruchtbaren Schwarzerde der Prärien, den ausgesprochenen Getreideböden der Hochplateaux und den Tonböden der Täler. Untersuchungen, die in Österreich in bezug auf das Verhältnis Kohlenstoff zu Stickstoff in verschiedenen Böden angestellt wurden[1]), erbrachten auch die Feststellung eines innerhalb nur geringer Grenzen schwankenden Gleichgewichtszustandes dieser zwei Nährstoffe zueinander, bei sehr humösen Böden lag das Verhältnis C:N wie 100:11—12, bei sehr humusarmen wie 100:13—15.

In letzter Zeit haben eine Reihe von Forschern ihre Aufmerksamkeit auf die Bedeutung solcher quantitativen Nährstoffverhältnisse gerichtet, es wird versucht, bis jetzt unerforschte Gesetzmäßigkeiten aufzudecken und wenn möglich, mathematisch zu formulieren. Hierzu gehört vor allem die Theorie von Loew[2]) über den günstigen Kalk-Magnesium-Faktor.

Loew vertritt bekanntlich den Standpunkt, daß die Nährstoffe Kalk und Magnesia den Pflanzen in einem ganz bestimmten Verhältnis dargeboten werden müssen, um Maximalerträge zu erzielen. Loews Anschauung teile ich in dieser Fassung ausgedrückt nicht ganz. Ich bin der Überzeugung, daß die Form, in der sich das Magnesium und auch das Kalzium befinden, von viel größerer Bedeutung als das gegenseitige quantitative

[1]) Fühl. Centr. Bl. 65, S. 191.

Verhältnis ist. Ich habe bei Vegetationsversuchen z. B. mit Magnesiumkarbonat starke Schädigungen erhalten, während viel größere Mengen von Magnesium, in Form von Sulfat gegeben, noch ertragssteigernd wirkten. Ähnlich liegen die Verhältnisse bei den Kalkverbindungen, diese Tatsache ist ja von Loew und seinen Schülern auch beobachtet und beschrieben worden, ja sie schließen sogar bei Verschiebungon und Abweichungen des von ihnen berechneten optimalen Kalkfaktors auf größere resp. geringere Wirksamkeit der angewandten Verbindungen, so z. B., wenn sie das künstlich hergestellte kohlensaure Magnesium mit dem natürlichen Magnesit vergleichen. Also sind doch wohl elektrochemische Form oder physikalische Eigenschaft eines Stoffes viel bestimmender als die quantitativen Verhältnisse. Nicht beistimmen kann ich Loew, wenn er (L. J. 47, S. 111) die Behauptung ausspricht, die Alkalität des Bodens hindere die genügende Aufnahme von Kalk und Magnesia. Ich bin, wie schon mehrfach erwähnt, der Anschauung, daß Alkalität des Bodens im allgemeinen die Kationenaufnahme in ihrer Gesamtheit, die Kalkaufnahme jedenfalls, wahrscheinlich aber auch die von Magnesia erhöht, Azidität des Bodens die Anionenaufnahme (spez. Phosphorsäureaufnahme) fördert. Wenn ich also auch nicht glaube, daß durch die Berechnung eines optimalen Verhältnisses Kalk zu Magnesia für die Praxis viel erzielt werden kann, besonders bei der Schwierigkeit oder Unmöglichkeit einer richtigen Bodenanalyse, so stimme ich Loew völlig bei, wenn er ausspricht, die Funktionen des Kalziums und des Magnesiums seien aufs innigste miteinander verknüpft und hängen voneinander ab. Loew hat die Giftwirkung von Magnesiumsalzen auf Algen, die er durch Verdrängung des Kalks aus dem Zellkern erklärt, durch Kalksalze wieder aufheben können. Ich sehe in Kalzium und Magnesium auch Antagonisten und halte die gelegentlich ausgesprochene Anschauung, Kalk und Magnesia seien im Mergel gegeben gleichwertig, für nicht richtig. Besonders interessant fand ich die Behauptung von Loew, daß er diese Abhängigkeit von Kalk und Magnesium in erster Linie auf die Phosphorsäureernährung, besonders die des Zellkerns und der Chlorophyllkörner zurückführt. Wenn er freilich ausspricht, daß die Phosphorsäure nur aus Magnesiumphosphat assimiliert oder zur Bildung von Nucleoprotein verwandt werden kann, so vermisse ich hier die experimentellen Belege. Daß ein Überschuß von Kalk die Assimilation von Phosphorsäure hindert, ist zweifellos richtig, bis jetzt freilich ist diese Beobachtung in erster Linie bei Kalkphosphaten gemacht worden. Wie die Versuche, die ich mit Aluminium, Eisen und Magnesiumphosphat ausgeführt habe, zeigen, scheint bei diesen Phosphaten kohlensaurer Kalk, in mäßiger Menge gegeben, nicht schädigend einzuwirken.

Auch Ehrenbergs Kalkkaligesetz[1]) gehört in dieses Gebiet der Wechselwirkung und Beeinflussung verschiedener Nährstoffe untereinander. Ehrenberg nimmt an, daß durch erhebliches Steigern der Kalkzufuhr die Kaliaufnahme stark zurückgedrängt wird und empfiehlt deshalb Kalk nicht

ohne zweckmäßige Kalidüngung zu geben und auch die spezifische Kalkempfindlichkeit der Kulturpflanzen von vornherein durch starke Kaligaben zu berücksichtigen, da die Kalkschädigungen nicht immer sofort in die Erscheinung treten. Betrachten wir unter dem Gesichtspunkt dieses Gesetzes den Verlauf solcher Düngungen. Es wurde gekalkt, das Gesetz fordert gleichzeitig eine starke Gabe möglichst reiner Kalisalze, diese lösen durch Umsetzung Kalk in großen Mengen aus dem Boden; zunächst werden die Pflanzen hierdurch überschwemmt mit löslichen Kalksalzen, welche jedoch bald ausgewaschen werden, der Boden verarmt infolgedessen an Kalk, und das Spiel kann von neuem beginnen. Im wahren Sinne des Wortes ein Circulus vitiosus. Eine gegenseitige Beeinflussung von Kalk und Kali im Boden ist in diesem Sinne jedenfalls vorhanden und Ehrenberg zeigte in einer Reihe von Versuchen mit Göttinger Buntsandstein und Lehmboden, daß Ätzkalk deutliche Ertragsverminderungen hervorrief.

Was nun aber die Zurückdrängung der Kaliaufnahme unter dem Einfluß von Kalk betrifft, so müßte sich eine solche meines Erachtens doch deutlicher kundgeben im Prozentgehalt von K_2O in der Asche. Die Zahlen, die Ehrenberg in dieser Hinsicht anführt, sind nicht sehr überzeugend. Ich greife hier einiges heraus, wobei ich bemerke, daß es auch Tabellen gibt, die Ehrenbergs Anschauung besser vertreten.

	Sommerweizen (s. S. 18 und 22)						Buchweizen (s. S. 19)			
	I Lehmboden		II Lehmboden		III Buntsandstein		I Buntsandstein		II Buntsandstein	
	Ertrag g	K_2O %	Ertrag g	K_2O %	Ertrag g	K_2O %	Ertrag g	K_2O %	Ertrag g	K_2O %
Ohne Kalkzugabe	35,7	0,66	48,3	1,71	37,0	1,45	9,4	1,22	14,6	1,68
Mit Kalkzugabe .	12,7	0,93	33,9	2,10	24,0	1,72	8,9	1,86	4,6	2,80

Diese Zahlen beweisen deutlich die Schädigung durch Kalk, nicht aber eine mangelhafte Kaliaufnahme. Sehen wir uns jetzt einige Bestimmungen des Phosphorsäuregehalts unter dem Einfluß von Kalkgaben an; dieselben sind freilich nur in geringer Zahl ausgeführt worden.

		Buchweizen mit Grunddüngung (s. S. 25) Lehmboden		
		Ertrag %	K_2O %	P_2O_5 %
Ohne Kali und Kalkdüngung	I	12,3	2,47	2,92
Mit 40 g Kalkasche.	I	8,5	2,29	0,64
40 g Kalk und 1 g Kali	II	13,1	3,98	3,54
Nur 40 g Kalk	II	8,5	2,29	0,64

Kalk setzt die Phosphorsäureaufnahme und in Abhängigkeit damit den Gesamtertrag ganz erheblich herab. Ich bin ja, wie schon häufig betont, der Anschauung, daß alkalische Reaktion, wie sie unter anderem durch $CaCO_3$, wenn auch in geringem Maße hervorgerufen werden kann, die Kationenaufnahme im allgemeinen, also auch die Kaliaufnahme fördern, aber nicht zurückdrängen sollte, besonders wenn es sich um die Zersetzung schwer löslicher Kaliverbindungen handelt. Anders steht es mit der Phosphorsäureaufnahme; da es sich bei ihr um Anionenaufnahme handelt, sollte dieselbe durch alkalische Reaktion und Gegenwart von Kalk erheblich gehindert werden, besonders wenn das Phosphat in Form von Kalkverbindungen vorliegt. Die oben angeführten Zahlen scheinen zugunsten meiner Anschauung zu sprechen.

Schlußbetrachtung.

Wenn ich jetzt zu der Frage übergehe, was für die Praxis von den in dieser Arbeit niedergelegten Beobachtungen und Erwägungen verwendbar sein könnte, so tue ich dies nur kurz und unter Vorbehalt. Zur Übertragung von Beobachtungen solcher Art in die Praxis sind ein großes Maß an praktischen Erfahrungen nötig und eine gewisse zeitliche Distance zu den erstmalig angestellten Vegetationsversuchen und der theoretischen Deutung.

Ich will hier nur kurz eines betonen: Wenn wir bis jetzt in Literatur und Praxis von der Verwertung resp. Aufschließung von Phosphaten durch verschiedene Pflanzen sprachen, so lagen unserer Vorstellung doch in erster Linie Kalkphosphate zugrunde, denn diese kamen in ausschließlicher Weise für die Kunstdüngung in Betracht. Die Frage der Base, an die die Phosphorsäure gebunden ist, ist aber, wie wir gesehen haben, durchaus keine nebensächliche. Ich möchte hier beiläufig die Verwendung von Rhenaniaphosphat zu verschiedenen Pflanzen berühren, die in letzter Zeit in der Fachliteratur mehrfach erörtert und durch die letzte Arbeit von Remy[1]) eingehend studiert wurde. Ich möchte hier nur kurz betonen, daß auch das Rhenaniaphosphat, da es ein Kalkphosphat, und zwar kein wasserlösliches ist, deshalb auch im allgemeinen die Vorteile und Nachteile eines solchen besitzen muß, also die Abhängigkeit seiner Wirksamkeit von Kalkgegenwart, Bodenreaktion und Pflanzenart. Eine Ausnahme bildet in diesem Sinne meiner Ansicht nach von den Kalkphosphaten bis zu einem gewissen Grade das Superphosphat, da dasselbe zunächst freie PO_4 Ionen in die Bodenlösung liefert; freilich unterliegen diese, da sie frei sind, im Laufe der Zeit der Fällung durch Kalksalze usw. und Umwandlung in nicht gelöste resp. nicht dissoziierte Kalkphosphate, wodurch sie dann allmählich in denselben Zustand wie die anderen bekannten Phosphatdünger gelangen und dann in gleicher Weise den vorhin erwähnten Beeinflussungen unterworfen sind. Aber zunächst liegt hier,

liegende Phosphorsäureverbindung ist trotz zahlreicher Untersuchungen endgültig noch nicht präzisiert worden. Daß diese Verbindung jedenfalls kein Tetraphosphat ist, wie früher angenommen wurde, möchte ich sicher glauben. Denn es wäre unerklärlich, wieso ein Tetraphosphat löslicher und verwertbarer sein sollte, wie andere weniger kalkreiche Verbindungen der Phosphorsäure. Sehen wir doch, beginnend mit dem Monokalziumphosphat über das Dikalziumphosphat, ein steigendes Schwererlöslichwerden bis zum Trikalziumphosphat. Vielleicht trifft es zu, daß wir es im Thomasmehl mit Doppelverbindungen mit Kieselsäure zu tun haben; daß es sich hier also um Silikatphosphate handelt, die als solche nicht direkt wasserlöslich sind wie das Superphosphat, dafür aber länger im wirksamen Zustande verharren, als das im Boden leicht fällbare Superphosphat. Vielleicht kann, wie schon vorhin angedeutet, teilweise auch die Gegenwart von Eisen, Aluminium- und Magnesiumphosphaten hier in Frage kommen.

Die Phosphorsäureaufnahme unterliegt also, um es kurz zusammenzufassen, allgemeinen theoretisch fixierbaren Gesetzmäßigkeiten; diese können wir durch Vegetationsversuche prüfen.

In der Praxis wird bei der Phosphorsäureaufnahme aus Boden und Düngung eine Fülle von Einzelfaktoren mitspielen. Es wird ein ganzer Fragenkomplex hier auftauchen:

Wie ist die Bodenreaktion, der Kalkgehalt, in welchen Verbindungen liegen die Bodenphosphate vor, was bleibt nach der Phosphorsäureaufnahme zurück, CaO oder MgO, ist der Boden an sich phosphorsäurebedürftig?

Diese Fragen können nur von Fall zu Fall durch zahlreiche Feldversuche entschieden werden. Wenn durch die oben geschilderten Versuche auch nachgewiesen werden konnte, daß auch die tertiären Aluminium-, Eisen- und Magnesiumphosphate durch die Pflanzen gut verwertbar sind, so ist damit noch keineswegs berührt oder gar bewiesen, daß die Aluminium-, Eisen- und Magnesiumphosphate des Bodens in gleicher Weise wirksam sind, denn wir könnten es hier, um nur eine Möglichkeit zu nennen, z. B. mit schwerlöslichen Doppelverbindungen zu tun haben.

Nun noch kurz einige Worte zu den aktuellen Düngerfragen. Ich will mich nicht in den Kampf für oder wider Phosphorsäure oder Stickstoff einlassen und hier nur einige Erwägungen prinzipieller Art anstellen. Ich bin der Überzeugung, daß die Agrikulturchemie zunächst noch keine allgemein gültigen Düngerrezepte geben kann, besonders da, wo sie noch selbst nach den wissenschaftlichen Grundlagen sucht. Wohl aber kann sie, und ich sehe dieses sogar als ihre Pflicht an, die Erkenntnisse, zu denen sie gelangt ist, so viel wie möglich der Praxis mitteilen, um eine nutzbringende Zusammenarbeit zu ermöglichen.

Zunächst einige Worte über die Frage des Grades der Stickstoff- und Phosphorsäurebedürftigkeit unserer Böden. Ich möchte hier noch einmal auf das auf Seite 21 und 22 Gesagte zurückverweisen, nämlich

kann, wo in Wirklichkeit durch physiologische Reaktionen Ernährungsstörungen auftreten, und 2) daß wir nicht aus dem Auge verlieren dürfen, daß in unseren Kulturböden seit der Anwendung künstlicher Düngemittel beträchtliche Veränderungen vor sich gegangen sind. Speziell was die Frage Phosphorsäure und Stickstoff betrifft, so möchte ich folgendes hervorheben. Zu Liebigs Zeiten ging der Kampf zwischen den sogenannten Mineralstöfflern und Stickstöfflern, der vorübergehend mit dem scheinbaren Siege Liebigs endete. Können wir uns heute vorstellen, daß ein so genialer und beobachtender Geist wie Liebig so erfolgreich seine einseitige Mineraldüngung hätte durchbringen können, wenn er tatsächlich derart im Unrecht gewesen wäre, wie es uns heute erscheint, wo wir die großen Erfolge der Stickstoffdüngung tagtäglich und greifbar vor Augen haben? Müssen wir uns nicht die Frage vorlegen: Befand sich tatsächlich der Stickstoff zu Liebigs Zeiten in den deutschen Böden ebenso häufig im Minimum, wie heute, oder lagen nicht durch die Art der Bodendüngung, wie sie vor Liebig gehandhabt worden war, vielleicht die Nährstoffverhältnisse anders wie heutzutage und es waren die Mineralstoffe mehr ins Hintertreffen geraten? Betrachten wir ähnliche Kulturverhältnisse, wie wir sie heutzutage noch in anderen Ländern antreffen, so haben wir vielleicht ein Recht, zu vermuten, daß der Stickstoffmangel in den deutschen Böden zu Liebigs Zeiten weniger groß war, wie heutzutage. Vor Liebigs Auftreten verwandte man in der Hauptsache natürliche organische Düngemittel, die der Landwirtschaft entstammten und durch die Gegenwart tierischen und pflanzlichen Plasmas verhältnismäßig stickstoffreich waren. Auch die Düngesalze, die man in früherer Zeit meist durch Umsetzungen organischer Substanzen gewann, waren in der Hauptsache Stickstoffsalze, so die aus tierischen Abfällen destillierten Ammonsalze, dann das sogenannte Hirschhornsalz, oder auch die Umsetzungsprodukte des Guanos durch Einwirkung alkalischer Salze, besonders der Pottasche, wobei Kalisalpeter neben Harnsäure und anderen stickstoffhaltigen Substanzen erhalten wurde. Dazu kam als A und O jeder landwirtschaftlichen Kultur der Stallmist. Wenn wir diese Tatsache festhalten, so gewinnt der Kampf Liebigs für uns eine wesentlich andere Gestalt. Die Verschiedenartigkeit der beiden Auffassungen war meines Erachtens weniger hervorgerufen durch Beobachtungsfehler oder durch falsche logische Schlüsse; sie war bedingt durch die damals in der deutschen Dünger- und Landwirtschaft herrschenden Verhältnisse. Liebigs Gegner hatten theoretisch Recht, wenn sie auf die große Bedeutung der Stickstoffernährung hinwiesen, in der Praxis erzielte unter den damals herrschenden Verhältnissen Liebig größere Erfolge durch seine Phosphorsäure- und Kalidüngung. Ähnlich wie damals liegen heute noch die Verhältnisse in einigen anderen außerdeutschen Ländern. Wohltmann[1]) schildert uns die tropischen Böden als außerordentlich stickstoffreich und weist nach, daß dort in erster Linie die Notwendigkeit besteht, Phosphorsäure und

Kali zuzuführen. Die Quellen ihres hohen Stickstoffgehaltes erscheinen nach menschlicher Berechnung reichlich und fast unversiegbar. Es sind die Reste organischen Lebens, die in einer Fülle diesen Böden wieder zuströmen, wie dieses eben nur in den Tropen denkbar ist, dazu kommen jene Stickstoffmengen, die in regenreichen tropischen Gegenden in den Niederschlägen den Böden zugeführt werden und welche nach Wohltmanns Berechnungen 45—50 k pro Jahr und ha betragen sollen, während nach englischer Berechnung durch die Niederschläge in unseren Breiten nicht mehr als 5—6 k pro Jahr und ha in den Boden gelangen. Wir werden wohl etwa das Richtige treffen, wenn wir im Durchschnitt 10—15 k N als diejenige Menge annehmen, die in unsern Breiten pro Jahr und ha herunterkommen. Ein Schweizer Agrikulturchemiker erzählte mir, daß bei den besonderen Verhältnissen in der Schweiz, einerseits starker Viehhaltung und andererseits dem Mangel an eignen Phosphaten, die Schweizer Böden im allgemeinen sehr stickstoffreich seien, sie enthielten im Durchschnitt 0,3 % Stickstoff, es gäbe solche mit 0,4 % Stickstoff, welche überhaupt nicht stickstoffbedürftig seien, dagegen sehr stark auf Phosphorsäuredüngung reagieren.

Ganz anders liegen die Verhältnisse heutzutage bei uns in Deutschland. Schon lange vor dem Kriege war der Stickstoff der teuerste Pflanzennährstoff, infolgedessen verfuhr man in der Praxis — und mit Recht — in der Weise, daß man sein Düngerbudget auf den Stickstoff einstellte, davon soviel anwandte, als es den Verhältnissen gemäß anging und dazu von den billigeren Nährstoffen Phosphorsäure, Kali und gegebenenfalls Kalk im Überschuß soviel auf die Felder brachte, daß man die Garantie hatte, daß der teure Stickstoff jedenfalls voll ausgenutzt wurde. Während des Krieges war der Chilisalpeter nicht mehr zu haben, die einheimische Stickstoffindustrie hatte vollauf mit der Befriedigung der Sprengstoffforderungen zu tun, der Stallmist verschlechterte sich in Qualität und Quantität. Die Folge mußte eine außerordentliche Stickstoffverarmung unserer Böden sein, während die jahrzehntelang gegebenen Phosphorsäureüberschüsse nicht so leicht durch Auswaschung oder Verbrauch zum Verschwinden gebracht werden konnten. Wir erzielen deshalb im Augenblick tatsächlich durch Stickstoffdüngung im allgemeinen größere Erfolge als durch Phosphorsäuredüngung.

Nun noch eine andere prinzipielle Seite dieser Frage. Stickstoff- und Phosphorsäuremangel äußern sich im Wachstum der Pflanzen in ganz verschiedener Weise. Leidet eine Pflanze unter Stickstoffarmut, so tritt frühzeitige Blüte, Samenbildung und Reife ein. Die kümmerlichen Pflanzen finden einen frühzeitigen Lebensabschluß. Anders bei Phosphorsäuremangel. Hier bleibt die ganze Entwicklung gleichsam stehen, sie macht kaum sichtbare Fortschritte, die Wachtumszeit wird stark verlängert, das Tempo der Entwicklung verlangsamt. Innerhalb dieser Zeit verarbeiten die Wurzeln das, was sie an schwerlöslichen Phosphaten dem armen Boden abgewinnen

frist gewährt. Bei P_2O_5-Mangel braucht also nicht, kann aber unter günstigen Umständen (längere Vegetationsdauer, genügende Wasserversorgung, günstige allgemeine Nährstoff- und Bodenverhältnisse) ein guter Ernteertrag erzielt werden. Bei N-Mangel dagegen ist dies nicht möglich. In einem feuchten Jahre wird deshalb nicht leicht P_2O_5-Mangel eintreten, dagegen wohl in einem trocknen; umgekehrt liegt es beim N.

Bei den vorhin geschilderten physiologischen Besonderheiten der Stickstoff- und Phosphorsäure-Ernährung werden wir also mit letzterer eher sparen dürfen als mit ersterem. Wo wir freilich unter besonderen Verhältnissen eine Tempobeschleunigung oder Abkürzung des Wachstums hervorrufen wollen, werden wir zur Düngung mit löslichen resp. leicht aufnehmbaren Phosphaten greifen müssen.

Ich habe eine Tempobeschleunigung des Wachstums durch Darreichung löslicher Phosphate häufig beobachten können, sowohl bei Vegetations- wie bei Feldversuchen, und weiter habe ich dann konstatiert, daß bei längerer Vegetationsdauer dieser ursprüngliche Vorsprung nachträglich teilweise oder ganz eingeholt werden konnte.

Unser phosphorsäurebedürftiger Hohenheimer Versuchsboden[1]), den wir mit gutem Erfolg zu Phorphorsäurevegetationsversuchen verwenden können, hat in Freilandkasten bei langer Versuchsdauer, z. B. bei einem Versuch mit Winterroggen, bei einem anderen mit Runkelrüben, die vom April bis November im Boden verblieben, mit und ohne Phosphorsäure die gleichen Erträge ergeben, obgleich im Anfang der Vegetationszeit ein deutlicher Vorsprung in der Entwicklung durch Phosphorsäuredüngung zu bemerken war.

Jetzt soll noch der Fall scheinbarer Nährstoffbedürftigkeit unter besonderen Verhältnissen besprochen werden. Scheinbare Nährstoffbedürftigkeit, die da wo es sich um P_2O_5 handelt, durch ungeeignete Nebendüngung, alkalische Bodenreaktion, Kalkgegenwart hervorgerufen werden kann, wird, wo der Stickstoff in Frage kommt, aus folgenden Gründen seltener auftreten: 1. Wir haben nicht mit gleichgroßen Mengen immobiler Stickstoffverbindungen im Boden zu rechnen, wie dies bei den Phosphorsäureverbindungen der Fall ist, die wir durch geeignete Nebendüngung mobil machen könnten. 2. Auch die künstlichen Stickstoffdüngemittel, die wir anwenden, sind leichtlöslich und unterliegen deshalb im Falle einer ungünstigen Nebendüngung resp. Bodenreaktion nicht in gleichem Maße wie die Phosphate der Gefahr einer Unlöslichmachung.

Aus diesen Gründen erzielen wir auch durch eine Stickstoffdüngung höhere Mehrerträge und sicherere Resultate als mit einer Phosphorsäure-

---

[1]) Wir sind durch den Besitz dieses Bodens viel besser gestellt als viele andere Versuchsstationen, die Mühen und Kosten aufwenden müssen, um sich phosphorsäurebedürftige Böden zu ihren Versuchen zu verschaffen.

In Ernsthofen in Baden befinden sich die Bauern bekanntlich im glücklichen Besitz [illegible]

düngung. Die Wirkung einer Stickstoffdüngung können wir durch Nebendüngung und Bodenreaktion wohl unterstützen resp. hemmen, wir werden aber schwerlich sie durch ungeeignete Maßnahmen gänzlich zerstören können, wie dies bei einer Phosphorsäuredüngung uns passieren könnte, z. B. Knochenmehl plus Kalk zu Getreide. Die direkte Wirkung einer Chilisalpeterdüngung wird wirksam gehoben werden können durch physiologisch saure Nebendüngung resp. Anwendung auf sauren Böden, andererseits eine Ammoniumsulfatdüngung in überraschender Weise unterstützt durch alkalische Nebendüngung, Anwendung zu kalkreichen Böden, schwerlöslichen Düngerphosphaten oder Bodenphosphaten.

Ich sehe in der Düngung den Versuch, eine Verschiebung der Konzentrationsverhältnisse der Bodenlösung herbeizuführen, und zwar der Gesamtkonzentration, des gegenseitigen Nährstoffverhältnisses und der Reaktion. Deshalb die enorme Wirkung einer Kunstdüngergabe trotz der dadurch hervorgerufenen nur ganz minimalen Erhöhung des Gesamtgehalts des Bodens an Nährstoffen.

Die eben geschilderten Dinge gehören gewiß mit zu den Gründen der ungleichen Wirkung der Düngemittel, zum gelegentlich rätselhaften Versagen derselben in der Praxis, usw.

Diese Dinge sind dem Agrikulturchemiker geläufiger als dem praktischen Landwirt. Seitdem in der Agrikulturchemie aber die Erkenntnis auf diesem Gebiet zunimmt, sollten diese Fragen, die doch von weittragender Bedeutung sind, auch den Vorstellungen der Landwirte näher gebracht werden, um diese Erkenntnisse für die Praxis nutzbar zu machen.

In den Landwirten, besonders den Pionieren unter ihnen, haben wir wertvolle Mitarbeiter, die uns unterstützen werden in einer Forschung, die ohne diese Hilfe zur Unfruchtbarkeit verurteilt werden könnte.

Es wird gelegentlich die Befürchtung ausgesprochen, daß wir unsere Landwirte durch Aufmerksammachen auf diese doch recht komplizierten, dazu noch nicht voll erforschten und schwer zu übersehenden Dinge kopfscheu machen oder sie sogar in gefahrdrohender Weise zur Einschränkung bestimmter Düngungen veranlassen könnten. Ich meine, diese Gefahr müssen wir in den Kauf nehmen. Ich halte es für ehrlicher und nutzbringender, hier mit offenen Karten zu spielen.

Wie schon vorhin erwähnt bei der Besprechung der Kalk-Kalidüngung und der gegenseitigen Wechselbeziehung dieser beiden Stoffe, haben wir in der Praxis mit dem Fall zu rechnen, daß wir durch e i n e Düngung, die wir in einem Jahr gegeben, eine andere nachfolgende notwendig machen. So werden wir nach starkem Kalken lösliche Phosphate zuführen müssen, ebenso Kali in erheblicher Menge, die Kalisalze werden im Laufe ihrer Wirkung den Boden an Kalksalzen verarmen lassen, und so fort. Wir könnten hier, wie schon erwähnt, von einem Circulus vitiosus sprechen, in den wir hineingeraten, wenn dieser Circulus nicht gerade d[illegible] hervorrufen würde, wa[illegible] wir h[illegible]

was schadet es? solange nur dieser Kreislauf rentabel bleibt, und zwar nicht allein privatwirtschaftlich, sondern auch volkswirtschaftlich.

Es können aber Umstände eintreten, die dieses Letztere in Frage stellen, wo wir deshalb veranlaßt werden könnten, nach Möglichkeiten zu forschen, die es uns gestatten, mit dem einen oder anderen Nährstoffe zu sparen und ihn diesem Circulus nicht planlos im Überschuß zuzuführen.

Dieser Fall scheint nun unter den augenblicklichen Verhältnissen für den Nährstoff Phosphorsäure eingetreten zu sein, und die Erwägungen, die über diese Frage in letzter Zeit, besonders von Aereboe[1]) ausgesprochen wurden, verdienen volle Beachtung, sowohl im Interesse der Landwirtschaft wie der Agrikulturchemie und der Volkswirtschaft. Die praktischen Ratschläge, die Aereboe in bezug auf die Anwendung von Stickstoff und Phosphorsäure erteilt, vereinigen allgemeine Gesichtspunkte, die für unsere Zeit, unsere Böden und unsere wirtschaftlichen Verhältnisse gelten. Die von Aereboe vorgeschlagenen Maßnahmen tragen den besonderen Bedingungen der Jetztzeit Rechnung: nämlich bestimmten Erfahrungen der landwirtschaftlichen Praxis, den neueren wissenschaftlichen Beobachtungen der Agrikulturchemie, und endlich liegen ihnen sehr wichtige volkswirtschaftliche Momente zugrunde. Die praktischen Düngeerfahrungen gehen dahin, daß unsere deutschen Böden im Durchschnitt sich für eine Stickstoffdüngung dankbarer erweisen als für eine Phosphorsäuredüngung und deshalb diese erstere mehr lohnen. Es folgt die nationalökonomische Seite der Frage. Von den drei Nährstoffen werden zwei, nämlich Stickstoff und Kali, von unserer einheimischen Industrie produziert, die Ausgaben für diese Stoffe bleiben also im Lande, unterstützen unsere eigene Industrie und heben unsere allgemeine Produktionskraft. Die Phosphate müssen importiert werden, und zwar bei dem augenblicklichen Stande unserer Valuta unter sehr großen Opfern. Die Beobachtungen der Agrikulturchemie endlich haben gezeigt, daß vor dem Kriege gelegentlich Verschwendung mit Phosphorsäuredüngung getrieben wurde, daß unsere Böden diese zum größten Teil in mehr oder weniger zugänglicher Form zurückgehalten haben, daß die verschiedenen Kulturpflanzen ein ungleiches Aneignungsvermögen für diese Phosphate haben, und daß endlich die Wirkung dieser Phosphate durch die Art der Nebendüngung unterstützt oder gehemmt werden kann. Aereboe faßt alle diese Beobachtungen zusammen und läßt sie sich zu Ratschlägen verdichten, die gedacht sind für unsere Bodenverhältnisse und unsere ökonomische Lage. Nicht zu einer dauernden Sparsamkeit mit der P_2O_5-Düngung unter allen Umständen wird geraten; nur zu einer Revision des Mengenverhältnisses P_2O_5- zu N-Düngung. Dieses ist früher vielfach zu ungunsten des Stickstoffs ausgefallen. Unter den augenblicklichen Verhältnissen erscheint dieses unangebracht.

Es ist von der größten Bedeutung, daß wir durch eine möglichst große Anzahl von Feldversuchen[2]) Klarheit und Beweise in diese wich-

düngung. Die Wirkung einer Stickstoffdüngung können wir durch Nebendüngung und Bodenreaktion wohl unterstützen resp. hemmen, wir werden aber schwerlich sie durch ungeeignete Maßnahmen gänzlich zerstören können, wie dies bei einer Phosphorsäuredüngung uns passieren könnte, z. B. Knochenmehl plus Kalk zu Getreide. Die direkte Wirkung einer Chilisalpeterdüngung wird wirksam gehoben werden können durch physiologisch saure Nebendüngung resp. Anwendung auf sauren Böden, andererseits eine Ammoniumsulfatdüngung in überraschender Weise unterstützt durch alkalische Nebendüngung, Anwendung zu kalkreichen Böden, schwerlöslichen Düngerphosphaten oder Bodenphosphaten.

Ich sehe in der Düngung den Versuch, eine Verschiebung der Konzentrationsverhältnisse der Bodenlösung herbeizuführen, und zwar der Gesamtkonzentration, des gegenseitigen Nährstoffverhältnisses und der Reaktion. Deshalb die enorme Wirkung einer Kunstdüngergabe trotz der dadurch hervorgerufenen nur ganz minimalen Erhöhung des Gesamtgehalts des Bodens an Nährstoffen.

Die eben geschilderten Dinge gehören gewiß mit zu den Gründen der ungleichen Wirkung der Düngemittel, zum gelegentlich rätselhaften Versagen derselben in der Praxis, usw.

Diese Dinge sind dem Agrikulturchemiker geläufiger als dem praktischen Landwirt. Seitdem in der Agrikulturchemie aber die Erkenntnis auf diesem Gebiet zunimmt, sollten diese Fragen, die doch von weittragender Bedeutung sind, auch den Vorstellungen der Landwirte näher gebracht werden, um diese Erkenntnisse für die Praxis nutzbar zu machen.

In den Landwirten, besonders den Pionieren unter ihnen, haben wir wertvolle Mitarbeiter, die uns unterstützen werden in einer Forschung, die ohne diese Hilfe zur Unfruchtbarkeit verurteilt werden könnte.

Es wird gelegentlich die Befürchtung ausgesprochen, daß wir unsere Landwirte durch Aufmerksammachen auf diese doch recht komplizierten, dazu noch nicht voll erforschten und schwer zu übersehenden Dinge kopfscheu machen oder sie sogar in gefahrdrohender Weise zur Einschränkung bestimmter Düngungen veranlassen könnten. Ich meine, diese Gefahr müssen wir in den Kauf nehmen. Ich halte es für ehrlicher und nutzbringender, hier mit offenen Karten zu spielen.

Wie schon vorhin erwähnt bei der Besprechung der Kalk-Kalidüngung und der gegenseitigen Wechselbeziehung dieser beiden Stoffe, haben wir in der Praxis mit dem Fall zu rechnen, daß wir durch e i n e Düngung, die wir in einem Jahr gegeben, e i n e a n d e r e nachfolgende notwendig machen. So werden wir nach starkem Kalken lösliche Phosphate zuführen müssen, ebenso Kali in erheblicher Menge, die Kalisalze werden im Laufe ihrer Wirkung den Boden an Kalksalzen verarmen lassen, und so fort. Wir könnten hier, wie schon erwähnt, von einem Circulus vitiosus sprechen, in den wir hineingeraten, wenn dieser Circulus nicht gerade das hervorrufen würde, was wir bezwecken, nämlich eine gewaltige Tempobeschleunigung und Produktionserhöhung des Pflanzenwachstums. Wenn also auch durch e i n e Düngung weitere hervorgerufen werden sollten,

was schadet es? solange nur dieser Kreislauf rentabel bleibt, und zwar nicht allein privatwirtschaftlich, sondern auch volkswirtschaftlich.

Es können aber Umstände eintreten, die dieses Letztere in Frage stellen, wo wir deshalb veranlaßt werden könnten, nach Möglichkeiten zu forschen, die es uns gestatten, mit dem einen oder anderen Nährstoffe zu sparen und ihn diesem Circulus nicht planlos im Überschuß zuzuführen.

Dieser Fall scheint nun unter den augenblicklichen Verhältnissen für den Nährstoff Phosphorsäure eingetreten zu sein, und die Erwägungen, die über diese Frage in letzter Zeit, besonders von Aereboe[1]) ausgesprochen wurden, verdienen volle Beachtung, sowohl im Interesse der Landwirtschaft wie der Agrikulturchemie und der Volkswirtschaft. Die praktischen Ratschläge, die Aereboe in bezug auf die Anwendung von Stickstoff und Phosphorsäure erteilt, vereinigen allgemeine Gesichtspunkte, die für unsere Zeit, unsere Böden und unsere wirtschaftlichen Verhältnisse gelten. Die von Aereboe vorgeschlagenen Maßnahmen tragen den besonderen Bedingungen der Jetztzeit Rechnung: nämlich bestimmten Erfahrungen der landwirtschaftlichen Praxis, den neueren wissenschaftlichen Beobachtungen der Agrikulturchemie, und endlich liegen ihnen sehr wichtige volkswirtschaftliche Momente zugrunde. Die praktischen Düngeerfahrungen gehen dahin, daß unsere deutschen Böden im Durchschnitt sich für eine Stickstoffdüngung dankbarer erweisen als für eine Phosphorsäuredüngung und deshalb diese erstere mehr lohnen. Es folgt die nationalökonomische Seite der Frage. Von den drei Nährstoffen werden zwei, nämlich Stickstoff und Kali, von unserer einheimischen Industrie produziert, die Ausgaben für diese Stoffe bleiben also im Lande, unterstützen unsere eigene Industrie und heben unsere allgemeine Produktionskraft. Die Phosphate müssen importiert werden, und zwar bei dem augenblicklichen Stande unserer Valuta unter sehr großen Opfern. Die Beobachtungen der Agrikulturchemie endlich haben gezeigt, daß vor dem Kriege gelegentlich Verschwendung mit Phosphorsäuredüngung getrieben wurde, daß unsere Böden diese zum größten Teil in mehr oder weniger zugänglicher Form zurückgehalten haben, daß die verschiedenen Kulturpflanzen ein ungleiches Aneignungsvermögen für diese Phosphate haben, und daß endlich die Wirkung dieser Phosphate durch die Art der Nebendüngung unterstützt oder gehemmt werden kann. Aereboe faßt alle diese Beobachtungen zusammen und läßt sie sich zu Ratschlägen verdichten, die gedacht sind für unsere Bodenverhältnisse und unsere ökonomische Lage. Nicht zu einer dauernden Sparsamkeit mit der P_2O_5-Düngung unter allen Umständen wird geraten; nur zu einer Revision des Mengenverhältnisses P_2O_5- zu N-Düngung. Dieses ist früher vielfach zu ungunsten des Stickstoffs ausgefallen. Unter den augenblicklichen Verhältnissen erscheint dieses unangebracht.

Es ist von der größten Bedeutung, daß wir durch eine möglichst große Anzahl von Feldversuchen[2]) Klarheit und Beweise in diese wich-

[1]) Deutsche Landw. Presse 1920, Nr. 89 und 101.

[2]) Siehe hierzu die Vorschläge in der D. landw. Presse 1921 Nr. 87 und 92.

gen Düngungsfragen hereinbringen. Natürlich müssen diese Versuche ıtsächlich zu dem Zwecke angestellt werden, die Frage zu ergründen, ·elcher Art und wie groß das Nährstoffbedürfnis unserer Böden ist. iese Versuche dürfen nicht angestellt werden zum Zwecke der Propaında für das eine oder andere Düngemittel oder zum Beweise der einen ler anderen wissenschaftlichen Theorie. Daß Phosphorsäure und Stick;off zu wirken imstande sind, wissen wir schon seit Liebig, dazu brauchen ir keine neuen Beweise. Wir dürfen also weder für den einen oder ıderen Zweck besonders geeignet erscheinende Böden hervorsuchen, oder ·er nachher nur die positiven Resultate einer Düngung veröffentlichen d negative fortlassen. Es handelt sich hier um eine Lebensfrage des utschen Volkes, an der alle nach bestem Wissen und Können mitbeiten sollen.

Wo nicht die Möglichkeit besteht, sogenannte exakte Feldversuche zustellen, lassen sich orientierende mit nicht viel Mühe, Zeit und Kosten sführen. Ich möchte hier an den einfachen Vorschlag Hellriegels[1]) nnern, der den praktischen Landwirten empfahl, bei der Düngung 2, 3 4 nicht zu große durch Schritte abgemessene und mit Pflöcken mar-ırte Stellen zu überspringen. Meist werden diese Stellen im Schlag n Landwirte etwas aussagen können über Nichtwirkung, Wirkung oder chwirkung eines Nährstoffes auf seinen Feldern.

Unsere Gegner sind im Besitze der Phosphate, wir wollen alles daran zen, um zur Beherrschung der rationellsten Anwendung derselben zu angen. Die Geschicke der Völker und des einzelnen lehren uns immer ·der, daß nicht die toten Bodenschätze an sich, sondern ihre Nutzbar-:hung durch menschliche Überlegung von Wert sind, und daß letzten les nie Besitz oder Gewalt gesiegt haben, sondern immer der Geist.

Zusammenstellung der Resultate.

1. Es bestätigt sich die Beobachtung, daß die verschiedenen Pflanzen durchaus verschiedenes Verwertungsvermögen schwerlöslichen Kalksphaten gegenüber zeigen.

2. Die kalkliebenden Pflanzen sind imstande, die Phosphorsäure aus verlöslichen Kalkphosphaten (Rohphosphaten, Trikalziumphosphat) auch schwach alkalischer Reaktion aufzunehmen. Gegenwart von alkalischen : physiologisch alkalischen Kalksalzen in mäßiger Menge verhindert ınbetracht des hohen Kalkkonsums dieser Pflanzen nicht die An-

CaO : Molekülen P_2O_5) im Durchschnitt 1—3, bei den kalkliebenden Pf (Cruciferen, Rüben, Hanf, Buchweizen) ist er sehr viel höher; im schnitt über 15. Die Höhe des Kalkphosphorsäurefaktors gestattet Rückschluß auf die Fähigkeit verschiedener Pflanzen, schwerlösliche phosphate zu verwerten. Die in der Pflanze gebildete Oxalsäure Kalküberschüsse in unlösliche Form über und entfernt sie so au Stoffkreislauf.

4. Es bestehen stöchiometrische Gesetzmäßigkeiten zwischen und Phosphorsäureaufnahme bei den einzelnen Pflanzen. Die Behind der Phosphorsäureaufnahme aus Kalkphosphat durch Gegenwart an Kalksalze tritt desto später ein, je höher im allgemeinen der Kalkk der betreffenden Pflanzenart ist. Das Getreide, welches normalerwe seiner Asche weniger Kalk im Verhältnis zu P_2O_5 enthält, als der F des Trikalziumphosphats entspricht, verwertet dasselbe nur bei Abw heit anderer Kalksalze. Bei Gegenwart von 1 Molekül kohlens Kalks zu 1 Molekül Trikalziumphosphat sank z. B. der Ertrag von auf die Hälfte, bei 2 Molekülen kohlensaurem Kalk auf ein Drittel Gegenwart von 5 Molekülen kohlensaurem Kalk war keine Wirkung Trikalziumphosphats mehr zu merken.

Beim Buchweizen war der Abfall der Trikalziumphosphatwirkung d steigende $CaCo_3$-Mengen ein viel allmählicherer. Erst bei Gegenwart ca. 600 Molekülen kohlensaurem Kalk hatte der Kalkphosphorsäurefa seine größte Höhe erreicht und die Wirkung von Trikalziumphosphat l völlig auf. Die Latitüden des Kalkphosphorsäurefaktors sind um so gr je größer das Kalkverschlingungsvermögen der Pflanzen ist.

5. Kennt man den Kalkphosphorsäurefaktor und seine Latitüden den einzelnen Pflanzen, so lassen sich die Aschenanalysen deuten. Darbietung von reinem Trikalziumphosphat in absolut neutralem und k freiem Sande leidet der Senf z. B. an Kalkmangel, der Mais an Phosp säuremangel, worüber uns die Ascheanalyse Aufschluß gibt. Der zeigt unter diesen Umständen einen unverhältnismäßig hohen P_2O_5-Ge zu anormal niedrigem Kalkgehalt (Faktor nur 7 gegen etwa 15 normalen). Der Mais dagegen zeigt niedrigen P_2O_5- und abnorm ho Kalkgehalt (Faktor 16 gegen etwa 3 des normalen).

Der Kalkphosphorsäurefaktor gibt uns also einen Hinweis auf Bedingungen, unter denen die Pflanzenernährung stattfand, und gest

II. Experimenteller Teil.

Für treue, nie ermüdende Hilfe danke ich meinen Assistentinnen, den Fräulein Maria Molt, Marta Kupke, Hedwig Reinermann.

1. Wirkung von Obolensandstein auf verschiedene Pflanzen.

Boden: Gemischt Hohenheimer Ackerboden und reiner Quarzsand zu gleichen Teilen.

Gefäße: Mit Ausnahme von Zuckerrüben erhielten alle Pflanzen große Tongefäße, Gewicht der Töpfe + Kies = 12 kg; Boden = 9 kg; dazu 640 ccm H_2O = 21,64 kg Gesamtgewicht.

Die Zuckerrüben wurden in große Zinkgefäße gepflanzt.

Gewicht der Töpfe + Kies = 10 kg; Boden = 13,5 kg; + 960 ccm H_2O = 24,46 kg Gesamtgewicht.

Wasserversorgung: Es wurde mit Leitungswasser begossen, und zwar je nach Bedarf, nachdem das Gewicht der Töpfe erstmalig auf 21,64 kg (resp. 24,46 kg) gebracht wurde; was einer Wassermenge von 60 % der wasserhaltigen Kraft des Bodengemisches entspricht.

In der ersten Zeit wurde alle 2—3 Wochen das Gewicht der Töpfe nachkontrolliert, wobei sich erwies, daß keine großen Schwankungen eingetreten waren. Nachdem die Pflanzen eine beträchtliche Größe erreicht hatten, wurde davon Abstand genommen wegen der riesengroßen Unterschiede im Gewicht der Pflanzen, welche die Genauigkeit dieser Methode illusorisch machten, weshalb das Begießen nach Bedarf bei größtmöglichster Aufmerksamkeit zweckentsprechender erschien.

Ich möchte zu der Wasserversorgung nach Gewicht noch folgendes bemerken: Die Parallelgefäße können sehr schön stimmende Resultate ergeben, denn der Wassergehalt und die Konzentration der Nährsalze müssen bei den drei Töpfen naturgemäß die gleichen bleiben. Vergleichen wir aber nun diese Bedingungen mit denjenigen, die in drei anderen Parallеltöpfen desselben Versuches herrschen, so sehen wir, daß die Verhältnisse hier, was die Konzentration betrifft, jedenfalls ganz andere sind, z. B. bei der Reihe ungedüngt im Vergleich zu der Reihe Volldüngung. Ein glänzendes Stimmen der Parallelgefäße unter sich bedeutet also keinesfalls, daß die Bedingungen in bezug auf Wasserversorgung zwischen zwei verschiedenen Parallelreihen ebenfalls konstant waren. Das Gießen nach Bedarf hat demgegenüber den Vorzug, daß, wenn es sorgfältig und aufmerksam geschieht, die Pflanzen jeder Reihe etwa das erhalten, was zum Optimum ihrer Versorgung nötig ist. Bei den folgenden Düngungsversuchen, welche in Ackerboden ausgeführt und mit Leitungswasser begossen wurden, habe ich also nicht nach Gewicht, sondern nach Bedarf

gegossen, bei allen in reinem Sand ausgeführten wissenschaftlichen Versuchen sind die Pflanzen mit Regenwasser nach der auch in anderen Vegetationsstationen üblichen Gewichtsmethode versorgt worden.

Düngung: Die Tongefäße erhielten 2 g Stickstoff, 2 g Kali, 1,5 g P_2O_5, und zwar in folgenden Formen:

3,225 $KNO_3 = 0,45\ N + 1,5\ K_2O$

0,78 $KCl = 0,5\ K_2O$

entweder 8,108 Thomasmehl (18,5 %) = 1,5 P_2O_5

oder 7,353 g Obelensandstein (20,4%) = 1,5 P_2O_5

3 g Gips.

Die Zinkgefäße erhielten, ihrem $1^1/_2$fach so großen Fassungsvermögen Rechnung tragend, die $1^1/_2$fache Menge aller Nährstoffe. Der fehlende Stickstoff wurde in der Folge als Kopfdüngung in Form von Ammoniumnitrat (34,86 % N) gegeben. Die Zinkgefäße erhielten entsprechend etwa das Anderthalbfache. Im übrigen ist bei der Besprechung der Vegetationsversuche die Menge, die Art und das Datum der Kopfdüngung noch entsprechend vermerkt (s. z. B. Tabak, Rüben, Kartoffeln).

Vegetationsbeobachtungen (siehe dazu Tab. 1—8).

Gerste und Erbsen.

27. April. Gesät 1,5 g Gerste = ca. 33 Korn, und 6,4 g Erbsen = ca. 20 Korn.

2. Mai. Keimanfang.

28. Mai. Bei Erbsen keine wesentlichen Unterschiede zu bemerken, Gerste mit Thomasmehl steht besser.

31. Mai. Gerste steht mit Thomasmehl, Erbsen mit Obelensandstein besser, Erbsen neigen zum Entfärben.

10. Juni. Erbsen im allgemeinen sehr hell und mager.

16. Juni. Erbsen haben Knospen, die mit Thomasmehl aber später.

17. Juni. Es zeigen sich überall Gerstenähren.

18. Juni. Erbsen mit Obelensandstein und ohne Phosphorsäure stärkere Schoten und Wuchs als mit Thomasmehl, Gerste mit Obelensandstein und auch ohne Phosphorsäure holen die mit Thomasmehl etwas ein, im allgemeinen ist es aber durchgängig kein glänzender Stand.

14. Juli. Ernte. Erbsen im allgemeinen schon abgetrocknet, nur oben noch frische Blätter und Schoten.

Ungedüngt: Ganz reif, sowohl Erbsen wie Gerste. Ohne Phosphat: Erbsen teilweise noch grün, Gerste weniger reif. Thomasmehl: Gerste und Erbsen reif, etwas weniger als bei ungedüngt. Obelensandstein: Gerste recht unreif, Erbsen reichlich Schoten, die oberen noch frisch.

Timoty und Bastardklee.

27. April. Gesät 0,25 g Timoty und 0,3 g Bastardklee.

2. Mai. Keimanfang.

5. Mai. Bei Bastard leidet die junge Saat, wie es zuerst schien, in-

folge Verschlämmung beim Begießen, am 11. Mai stellte es sich aber heraus, daß es das Auftreten des Wurzelbrandes war.

18. Mai. Timoty steht mit Thomasmehl deutlich besser.

28. Mai. Mit Thomasmehl stehen beide Pflanzen besser.

31. Mai. Bastard mit Obolensandstein fängt an sich zu erholen.

8. Juni. Der Bastardklee wächst überall infektionsartig (Knöllchenbakterien?). Bei Thomasmehl wächst er am gleichmäßigsten und beide Pflanzen mit Thomasmehl sind allen anderen voraus.

15. Juni. Ungedüngt: Gelb; alle anderen haben schöne Färbung. Es zeigen sich Ameisen in den Töpfen. In der Folge werden die Ameisen durch konzentrierte Kochsalzlösungen aus dem Gewächshause vertrieben und verschwinden dann auch im Laufe der Zeit aus den Gefäßen.

25. Juni. Thomasmehl: bei Timoty zeigen sich die ersten Rispen. Nr. 57 bleibt zurück.

28. Juni. Ungedüngt: Bastard zeigt trotz gelber Färbung sehr gleichmäßigen Stand, während er bei ohne P_2O_5 und Obolensandstein ganz infektionsartig mit Fehlstellen steht. Thomasmehl: Timoty so dicht, daß er den Klee überwuchert. Beginnende Rispenbildung.

10. Juli. Obolensandstein: Bei Timoty die ersten spärlichen Rispen.

6. August. Ohne P_2O_5 auch spärliche Rispen. Geerntet.

Ungedüngt: Ganz gelb und spärlich, ohne P_2O_5 etwas höher und grün. Thomasmehl: Durchgängig schöner Stand, besonders bei Timoty. Obolensandstein: Schöne Färbung, in Wuchs und Stand etwa die Mitte haltend zwischen ohne P_2O_5 und Thomasmehl.

Weizen und Luzerne.

27. April. Gesät 1,5 g Weizen = ca. 35 Korn; 0,45 g Luzerne = ca. 100 Korn.

1. Mai. Keimanfang bei Luzerne, die Weizenspitzen erscheinen einige Tage später.

5. Mai. Die junge Luzerne leidet wie Bastardklee unter Wurzelbrand.

18. Mai. Thomasmehl: Weizen deutlich besser, Luzerne in Nr. 186 durch Wurzelbrand erheblich geschädigt.

24. Mai. Thomasmehl: Weizen sehr gut. Luzerne steht mit Obolensandstein gleich wie mit Thomasmehl, außer Nr. 186, das durch Wurzelbrand stark dezimiert ist.

21. Juli. Es zeigen sich Weizenähren bei ungedüngt und Thomasmehl, weniger bei Obolensandstein, gar nicht bei ohne P_2O_5.

27. Juni. Weizenblüte. Auch hier bei Thomasmehl und ungedüngt früher.

6. August. Ernte. Am reifsten Thomasmehl und ungedüngt. Auch Obolensandstein recht reif. Ohne P_2O_5 noch nicht ganz gelb. Luzerne ungedüngt und auch ohne P_2O_5 hat sich in den letzten Wochen erholt und Obolensandstein fast eingeholt. Die Luzerne bei Thomasmehl ist ganz niedrig und gelb geblieben.

Hanf.

27. Juni. Gesät 0,8 g = zirka 80 Korn Hanf.

2. Mai. Keimanfang.

18. Mai. Ungedüngt und ohne P_2O_5 stehen schlechter, Thomasmehl und Obolensandstein gut. Ersterer vielleicht etwas besser, Nr. 253 ist erkrankt und zeigt helle Flecken auf den Blättern.

31. Mai. Thomasmehl steht besser als Obolensandstein, Nr. 253 ganz zurückgeblieben.

8. Juni. Thomasmehl und Obolensandstein fast gleich üppig dunkelgrün, außer Nr. 253. Es zeigen sich Kalkausscheidungen an den Hanfspitzen.

25. Juni. Es zeigen sich die ersten Knospen bei Thomasmehl, bei Obolensandstein schnell darauf.

30. Juni. Thomasmehl blüht zuerst, es folgt Obolensandstein, besonders Nr. 236. Es folgen die anderen mit Thomasmehl und Obolensandstein. Nr. 253 ist zurück in der Entwicklung, aber gesund und grün, während die anderen zur Zeit der Blüte helle, teilweise schon gelbe absterbende Blätter bekommen.

7. Juli. Knospen bei ungedüngt; bald nachher auch bei ohne P_2O_5.

10. Juli. Die männlichen Pflanzen blühen, ohne P_2O_5 fängt an sich zu erholen; die Pflanzen zeigen schöne Knospen und sind dunkelgrün.

23. Juli. Ernte. Nr. 253 hat scheinbar die Krankheit überwunden, ist aber zeitlich in seiner Entwicklung zurückgeblieben und kann deshalb nicht in den Durchschnitt hineingenommen werden.

Runkelrüben.

27. April. Gesteckt 0,5 g (zirka 22 Knäuel), in 6 Pflanzstellen verteilt.

4. Mai. Keimanfang.

15. Mai. Thomasmehl und Obolensandstein stehen besser.

19. Mai. Alle entfernt wegen starkem Wurzelbrand.

1. Juni. In dieselben Töpfe je 4 gleichgroße Setzlinge von einem Hohenheimer Felde gepflanzt.

11. Juni. Die Pflanzen haben sich vom Umpflanzen erholt und stehen stramm.

14. Juni. Auf 3 Pflanzen vereinzelt, keine Unterschiede zu bemerken.

21. Juni. 2,44 g NH_4NO_3 als Kopfdüngung, 0,85 g N.
Es sind kleine Unterschiede zu bemerken, Thomasmehl und Obolensandstein stehen besser.

9. Juli. Zweite Kopfdüngung; wieder 0,85 g N.

13. August. Die dritte N-Kopfdüngung; 100 ccm, enthaltend 2 g K_2So_4 2, 44 NH_4NO_3 (0,85 N). Nr. 302 und 308 zeigen Faul- und Schwarzwerden der jungen Blätter, anscheinend Herzfäule, Obolensandstein alle gesund.

8. September. Auch hier wie bei den Zuckerrüben ist das Obolensandstein-Kraut schöner, aufrechter und reicher als mit Thomasmehl.

27. Oktober. Ernte. Ungedüngt ganz klein, ohne P_2O_5 in Wuchs zurückgeblieben und infolge von Phosphorsäuremangel mit hochrot gefärbten Blättern (charakteristische Antocyanbildung). Thomasmehl: Blätter ziemlich abgestorben. Bei Obolensandstein beginnt erst jetzt das Absterben der Blätter. Durch die Ernte konnte nachgewiesen werden, daß scheinbar nicht frühzeitige Reife das frühe Absterben bei Thomasmehldüngung bewirkt hatte, sondern daß anscheinend Krankheitserscheinungen daran schuld waren, die vielleicht Folgen der alkalischen Reaktion des Thomasmehls waren; ähnlich Krügers Beobachtungen bei Chilisalpeterdüngung, wo infolge alkalischer Reaktion auftretende Rübenfäule beobachtet werden konnte. Die Ernteerträge bei Obolensandstein-Düngung bleiben jedenfalls nicht hinter denen der Thomasmehldüngungen zurück.

Zuckerrüben.

27. April. In 6 Pflanzstellen je 4 Knäuel gesteckt (0,45 g).

4. Mai. Aufgang.

18. Mai. Ungedüngt und ohne P_2O_5 ganz schlecht. Thomasmehl viel besser, Obolensandstein mittel.

19. Mai. Beim Versetzen erwies es sich, daß alle Pflanzenwurzeln krank waren. Ungedüngt und ohne P_2O_5 hoffnungslos. Thomasmehl und Obolensandstein weniger krank. Alle wurden entfernt.

1. Juni. Je vier Setzlinge vom Felde in die alten Töpfe gepflanzt; 4 Töpfe, und zwar Nr. 11 und 12, mit Thomasmehl, und 15 und 16 mit Obolensandstein noch frisch dazu gesetzt.

11. Juni. Die Pflanzen haben sich vom Versetzen erholt und stehen stramm.

14. Juni. Auf drei Pflanzen vereinzelt. Keine Unterschiede zu bemerken.

15. Juni. Die Pflanzen mit Thomasmehl und Obolensandstein stehen anscheinend etwas besser.

21. Juni. 75 ccm Kopfdüngung 3,66 g $NH_4NO_3 = 1,27$ g Stickstoff.

9. Juli. Zweite Stickstoffdüngung wie am 21. Die Unterschiede im Stande der Pflanzen sind sehr groß. Ungedüngt und ohne P_2O_5 sind ganz kümmerlich (Ausnahme macht 7). Die Pflanzen mit Thomasmehl und Obolensandstein stehen gleichschön.

13. August. Ein Teil der schön wachsenden Pflanzen bekommen gelbe Blätter, es wird also eine dritte Kopfdüngung gegeben, und zwar je 150 ccm, enthaltend 3 g K_2SO_4 und 3,66 g NH_4NO_3; ohne P_2O_5 erhielt nur 100 ccm.

3. September. Nr. 7 (ohne P_2O_5) wird unverhältnismäßig kräftig.

8. September. Das Kraut bei Thomasmehl wird schlapp, absterbend, während es bei Obolensandstein noch aufrecht, dunkelgrün, kraftstrotzend ist. Es ist so deutlich, daß dadurch eine Unterscheidung der beiden verschiedenen Phosphatdüngungen möglich ist.

27. September. Auch Obolenkraut beginnt abzusterben. Ernte. Nr. 9 und 10 (Thomasmehl) kränkelten lange, zuerst wurde das frühe Ab-

sterben der Blätter frühzeitiger Reife infolge Düngung mit löslichen Phosphaten zugeschoben, bei der Ernte erwies es sich aber, daß bei Nr. 9 2 Exemplare ganz klein, angefault und schwarz waren; ähnliche Erkrankungen waren bei Nr. 10; beim Frischgewicht machte das nicht viel aus, da die faulige feuchte Masse verhältnismäßig viel wog. Bei der Trockengewichtsbestimmung dagegen zeigte sich das große Defizit.

Kartoffeln.

I. 27. Juni. Gesteckt je eine Knolle Frühkartoffeln aus der Hohenheimer Gutswirtschaft. Gewicht 47—54 g.

11. Mai. Keimanfang.

23. Juni. Thomasmehl deutlich, Obolensandstein schwach besser. Nr. 344 bleibt individuell zurück. Der Topf war zu voll, der Boden mußte eingedrückt werden und die Keimlinge kamen infolgedessen später.

5. Juni. Leichte Kräuselkrankheit bei Obolensandstein und ohne P_2O_5.

14. Juni. Die Oberfläche des Bodens wird gelockert. Schwarze Flecken und Kräuselkrankheit bei Obolensandstein und ohne P_2O_5, Ungedüngt bleibt ganz hell und klein, aber gesund.

17. Juni. Anscheinend hilft das Häufeln gegen die Kräuselkrankheit. Wahrscheinlich kann die Luft durchpassieren, die gehindert war, solange der lederartige Erdbelag die Oberfläche bedeckte.

24. Juni. Winzige Blütenknospen, die sich bei Thomasmehl zeigten, trocknen gleich wieder ab.

29. Juni. Recht kräuselkrank sind 337 und 345; leichte Anzeichen zeigen 335, 338, 339; Nr. 342 hatte stark schwarze Flecken, die jetzt abgetrocknet sind, die Pflanze ist aber sonst grün, gesund und ohne Kräuselung.

12. Juli. Thomasmehl zeigt gelbe Blätter, das Wachstum ist ebenso wie bei ungedüngt anscheinend beendet. Das Kraut bei ohne P_2O_5 und Obolensandstein ist noch grün, wenn auch hie und da Kräuselkrankheit sich zeigt.

7. August. Ernte. Das Kraut bei Thomasmehl ist fast ganz abgestorben, bei ungedüngt und ohne P_2O_5 noch recht frisch. Bei Obolensandstein ist es teilweise abgestorben.

Da der Obolensandstein bei den Kartoffeln nicht so ganz eindeutige Resultate ergeben hatte, so wurde der Versuch wiederholt, und zwar wurde diesmal eine saure Nebendüngung gegeben.

II. Gefäße: Tontöpfe, Gewicht mit Kies 8 kg, Boden 12 kg, und zwar 6 kg Ackerboden und 6 kg Sand.

Düngung: P_2O_5 1,5 g, und zwar Obolensandstein (20,4%ig), 7,353 g resp. Thomasmehl (12,96%) 11,573 g.

N = 3 g, und zwar 6,45 KNO_3 = 0,9 N + 10 g $(NH_4)_2SO_4$ = 2 g N, in zwei Kopfdüngungen verteilt.

K_2O = 5 g, und zwar 6,45 KNO_3 = 3 K_2O; 3,7 g K_2SO_4 = 2 g K_2O, in zwei Kopfdüngungen verteilt. 6 g $CaSO_4$.

15. Juli. Gesteckt in jedes Gefäß je eine Kartoffel, Gewicht schwankend zwischen 61—93 g (s. Tabelle).

1. August. Gehäufelt.

7. August. Erste Kopfdüngung, und zwar 50 ccm einer Lösung, die 1 g K_2O und 1 g N enthielt. Wieder gehäufelt.

14. August. Zweite Kopfdüngung wie am 7. August. Es sind dieselben Unterschiede zu bemerken wie beim Versuch I: Ungedüngt steht ganz niedrig und kümmerlich, ohne P_2O_5 ist etwas besser, wobei aber Nr. 6 individuell ganz zurückgeblieben ist und nicht in die Versuchsreihe mit hineingenommen werden kann. Thomasmehl steht sehr gut, Obolensandstein beträchtlich schwächer.

31. August. Beginnende Kräuselkrankheit.

1. November. Die Pflanzen sind erfroren, es wurde geerntet. Auch die Knollen waren leicht angefroren. Die Unterschiede waren etwa die gleichen wie bei Versuch I, nur war diesmal das Kraut noch durchgängig frisch und es hatte sich weniger Kräuselkrankheit gezeigt. Ungedüngt und ohne P_2O_5 zeigen Braunfärbung der Blätter. Die frisch geernteten Pflanzen wurden gewogen, da sie aber unter dem Frost gelitten hatten, so wurden sie sofort getrocknet und erst bei der Trockengewichtsbestimmung wurden sie in Kraut und Knollen gesondert.

Tabak.

27. April. Es wurden in jedes Gefäß je vier zweimal pikierte Pflänzchen mit 6 Blättern gesetzt. Die Pflanzen waren alle von gleicher Größe und Stärke.

3. Mai. Es scheint, als ob die Pflanzen mit Obolensandstein und Thomasmehl schon dunkler und kräftiger seien.

6. Mai. Thomasmehl und Obolensandstein stehen viel besser. Erste Stickstoffkopfdüngung, und zwar 1,22 g NH_4NO_3 = 0,425 N, und 2,965 $Ca(NO_3)_2$ = 0,35 N = Gesamt 0,775 g.

12. Mai. Es zeigen sich Unterschiede zwischen Obolensandstein und Thomasmehl. Thomasmehl steht besser, ungedüngt ist ganz hell und schlecht, ohne P_2O_5 niedrig, aber dunkel und gesund.

17. Mai. Thomasmehl steht vorzüglich, Obolensandstein bleibt ganz zurück.

28. Mai. Zweite Stickstoffkopfdüngung 2,44 NH_4NO_3 = 0,85 N.

31. Mai. Obolensandstein erholt sich, Thomasmehl ist exotisch üppig. Es scheint, als ob die Zugabe von Kalzium-Nitrat durch die Überschwemmung mit löslichen Kalksalzen die Ausnutzung des Kalziumphosphats im Obolensandstein verhindert hätte. Es wurde deshalb bei den folgenden Kopfdüngungen das physiologisch saure Ammonium-Nitrat verwandt und es machte sich deutlich eine Erholung der Obolensandstein-Pflanzen seit dieser Zeit bemerkbar.

26. Juni. Es zeigen sich Knospen bei Thomasmehl. N-Kopfdüngung für Thomasmehl und Obolensandstein je 3 26 g NH_4NO_3.

29. Juni. Thomasmehl Nr. 356 zeigt eine schöne rosa Blüte.

5. Juli. Obolensandstein zeigt Knospen, ohne P_2O_5 (Nr. 351) hat auch eine Knospe.

14. Juli. Obolensandstein und Nr. 351 blühen. Thomasmehl zeigt gelbe Blätter, Obolensandstein ist noch dunkelgrün, ebenso auch die Pflanzen ohne P_2O_5, ungedüngt ist gelb.

6. August. Ernte. Ungedüngt: niedrig gelb, keine Blüten, zirka 30 cm hoch, ohne P_2O_5: niedrig aber grün, gerade abgeblüht, Höhe 70 cm, Thomasmehl: 140 cm, untere Blätter ganz gelb, reichlich reife Früchte. Obolensandstein: 125 cm hoch, noch grüne Blätter. Früchte halbreif.

Versuchsresultate.

Alle Versuche haben durch den wenig für Vegetationsversuche geeigneten Sand gelitten, am wenigsten natürlich die gut gedüngten. Im allgemeinen sind jedoch die Resultate brauchbar, um als Anhaltspunkt zu dienen für die Beurteilung der verschiedenen Wirkung eines leichter und eines schwerer löslichen Phosphats auf verschiedene Pflanzen. Auch dieser Versuch bestätigt die Beobachtung, daß die Gramineen (Gerste, Timoty, Weizen) in ihrem Wachstum durch Rohphosphat wenig gefördert werden, erheblich bessere Wirkungen erzielte das Rohphosphat bei den Leguminosen, und die Rüben sowie der Hanf gaben mit Rohphosphat gleichhohe Erträge wie mit Thomasmehl. Auch der Tabak scheint im allgemeinen eine Rohphosphatdüngung gut auszunutzen, nur schien durch die Stickstoffdüngung mit Kalziumnitrat die Phosphorsäureausnutzung wesentlich herabgedrückt worden zu sein. Die Pflanzen erholten sich nachher, sobald sie Ammoniumnitrat erhielten. Die Wirkung des Rohphosphats auf Kartoffeln war eine sehr geringe, die Kartoffel scheint im allgemeinen in dieser Hinsicht den Gramineen nahe zu stehen, diese Ausnutzung wurde auch durch Zugabe saurer Nebendüngung nicht wesentlich erhöht. Auffallend war auch dieses Jahr der Umstand, daß beim Zusammenwachsen von Gramineen und Leguminosen in einem Gefäß, die Leguminosen bei Thomasmehldüngung ganz erheblich zurückblieben, ja sogar teilweise geringere Erträge ergaben, wie ohne Phosphorsäure. Naturgemäß gediehen in diesen Gefäßen die Cerealien gut, während mit Rohphosphat die Leguminosen erheblich gefördert wurden und die Gramineen im Ertrage ganz zurückblieben (s. Tabelle 1—8).

2. Wirkung der durch verschiedene Stickstoffsalze hervorgerufenen Bodenreaktion auf die Ausnutzung von Phosphaten.

Es wurden 2 Pflanzen, der Mais und der Senf, in bezug auf ihr Ausnutzungsvermögen verschiedener Phosphate geprüft, wobei zugleich die Unterstützung resp. Hemmung durch verschiedene Stickstoffdünger, physiologisch saurer und physiologisch alkalischer, studiert wurde. Um die physiologische Nebenwirkung der anderen Nährsalze möglichst auszuschalten, wurde der Hohenheimer Ackerboden benutzt, welcher, wie vorläufige Versuche bewiesen hatten, bei Vegetationsversuchen weder kali- noch kalkbedürftig war, wohl aber lebhaft auf Stickstoff- und Phosphorsäuredüngung

reagierte. Um die physiologisch saure Wirkung einiger Stickstoffverbindungen zu prüfen, wurden immer je 3 Gefäße ohne Kalk und 3 Gefäße mit 10 g geschlämmter Kreide aufgestellt. Die Gefäße waren aus Zink, faßten je 6 kg Ackerboden und erhielten 1 g Phosphorsäure und 1,5 g Stickstoff, und zwar zweimalig als Kopfdüngung (je 0,75 g). Die Phosphorsäure in Form von 2,4735 g Trikalziumphosphat (40,13 %ig).

resp. 4,902 g Obolensandstein (20,27 %ig),
„ 2,53 g norwegischen Apatit (39,52 %ig),
„ 1,85 g Monokalziumphosphat (54,06 %ig.

Der Stickstoff wurde gegeben in Form von
7,11 g Ammoniumsulfat (21,1 %ig),
resp. 5,73 g Ammoniumchlorid (26,18 %ig),
„ 4,3 g Ammoniumnitrat (34,86 %ig,
„ 11,25 g Kalziumnitrat (13,34 %ig),
„ 8,88 g Natriumnitrat (16,9 %ig),
„ 8,88 g Natriumnitrat plus 4,44 g Kaliumsulfat.

Alle diese Gruppen immer ohne Kalk resp. mit 10 g Schlämmkreide.

26. Juni. Gesät je 1 g Senf resp. 7 Korn angekeimter Maissaat.

28. Juni. Senfkeimanfang. Herausgebracht am 29. Juni.

1. Juli. Maisaufgang. Herausgebracht am 3. Juli.

5. Juli. Durch Abreißen des Daches der Vegetationshalle bei Platzregen und Hagelschlag wurden mehrere Töpfe verschwemmt, mit Wasser gefüllt, die Pflanzen teilweis entwurzelt. Von den Senftöpfen standen ganz schlecht und wurden durch neue ersetzt Nr. 126, 156, 162, 292, 302, 303. Deutlich gelitten hatten Nr. 138, 150, 141, 144, 174, 287, 293, 295, 296, 298, 299.

Beim Maisversuch standen ganz schlecht und wurden erneuert Nr. 330, 329, 325.

Gelitten haben Nr. 327, 332, 328, 326, 321, 320, 324, 334.

Abkürzungen:		ohne Kalk	mit Kalk
Monokalziumphosphat	= Mono.	a	b
Trikalziumphosphat	= Tri.	„	„
Obolensandstein	= Ob.	„	„
Apatit	= Ap.	„	„

9. Juli. Senf Mono. b steht besser als a.

10. Juli. Alle bekommen die erste Stickstoffdüngung: 0,75 g N.

Bei der einen Natriumnitratgabe wurden, wie vorher erwähnt, noch 2,22 g Kaliumsulfat zugegeben, um zu prüfen, ob die physiologisch alkalische Wirkung des Natriumnitrats vielleicht durch die physiologisch saure des Kaliumsulfats aufgehoben werden könnte.

12. Juli. Senf. Ohne Phosphorsäure b (nur Kaliumsulfat steht besser) zeigt überall eine kleine Depression. Trikalzium ist durchgängig etwas besser, b zeigt keine Depression, etwa ebenso stehen Obolensandstein und Ap. Beim Mono steht a dagegen besser. Bei ohne N sind vorerst keine Unterschiede zu sehen. Um den Unterschied des Begießens mit Regen- resp. Leitungswasser zu prüfen, wurden von den 3 Parallel-

gefäßen beim Senfversuch je 1 Gefäß mit Leitungswasser begossen, während sonst bei dem ganzen Versuch sowohl der Mais wie der Senf durchgängig Regenwasser erhielten.

Beim Mais sind vorerst keine Unterschiede zu bemerken.

14. Juli. Senf ungedüngt: a steht besser wie b, dunkler, niedriger und gedrungener.

Ohne Phosphorsäure: Gut stehen Ammoniumsulfat, besonders aber Ammoniumnitrat und Natriumnitrat plus Kaliumsulfat. Zurückgeblieben sind Ammoniumchlorid, Kalziumnitrat und Natriumnitrat.

Trikalziumphosphat: Steht durchgängig besser als ohne Phosphorsäure, auch hier sind Ammoniumnitrat und Ammoniumsulfat am besten, dann Natriumnitrat plus Kaliumsulfat, recht gut steht auch Kalziumnitrat b.

Obolensandstein: Reichlich ebenso gut wie Trikalziumphosphat, gleiche Unterschiede, b fällt nicht ab gegen a, nur Kaliumsulfat hat bei Ob. nicht besonders gewirkt.

Ap. wirkt anscheinend nicht, auch hier steht wie bei ohne Phosphorsäure Ammoniumnitrat a besser, während Kaliumsulfat nichts bewirkt hat.

Mono b durchgängig besser als a bei den sauren N-Düngemitteln, a steht dagegen glänzend bei den alkalischen.

Ohne N: Tri. steht besser als Ob., dieses als Ap., Mono hat durch Regen stark gelitten. Die Gefäße, welche Leitungswasser erhielten, zeigen im allgemeinen die gleichen Abstufungen, bei ohne Phosphorsäure sieht man kaum Unterschiede. Bei Tri. sieht man eine Depression bei b, besonders bei den sauren N-Salzen, besonders schön steht Mono b.

15. Juli. Die 6 zugesäten Senftöpfe erhielten die erste N-Düngung. Die Maispflanzen hatten dieselbe schon zugleich mit dem Hauptversuch erhalten. Diese waren im Alter den Senfpflanzen voraus, da sie umgepflanzt und nicht gesät wurden.

17. Juli. Die Unterschiede etwa wie am 14. Juli. Seit einigen Tagen zeigt sich die schädliche Wirkung von Ammoniumchlorid beim Senf besonders durch eine krankhafte gelbliche Färbung, diese Wirkung scheint unter dem Einfluß des Leitungswassers geringer zu sein, im allgemeinen läßt sich überhaupt sagen, daß alle Senfpflanzen, welche mit Leitungswasser gegossen werden, beträchtlich besser stehen.

19. Juli. Mais: Ungedüngt steht sehr gut, ebenso ohne Phosphorsäure bei saurer Nebendüngung. Ammoniumchlorid zeigt eine kleine Depression, ebenso Kalziumnitrat und Natriumnitrat. Tri.: nicht viel Phosphorsäurewirkung zu bemerken, etwas besser stehen Ammoniumsulfat a, Ammoniumnitrat a und Kaliumsulfat a. Ob.: Keine Phosphorsäurewirkung, vielleicht bei Ammoniumsulfat a. Ap.: Gar keine Phosphorsäurewirkung, deutliches Kümmern zu bemerken mit Ammoniumchlorid und den alkalischen Stickstoffdüngemitteln. Mono: Deutlichere Phosphorsäurewirkung wie bei Tri., besonders gut steht auch hier Ammoniumsulfat, besser als Chlorid.

24. Juli. Zweite N-Kopfdüngung, wie am 10. Juli.

25. Juli. Senf. Alle mit Leitungswasser gegossenen Pflanzen ohne

Phosphorsäure sind im Alter voraus und zeigen sogar Knospen. Die Unterschiede zwischen Mais und Senf sind sehr deutlich, bei Senf wirkt Tri., Ob. und sogar Ap. ähnlich, Kalk bewirkt kaum eine Depression, beim Mais wirkt Tri. gut, Ob. nur bei Ammoniumsulfat a und Ap. gar nicht. Kalk hebt überall die Phosphorsäurewirkung beim Mais auf, außer beim Mono.

29. Juli. Senf. Ohne Phosphorsäure mit Regenwasser ist recht zurück, mit Leitungswasser dagegen sehr viel besser, es sind Knospen und teilweise Blüten da. Ungedüngt zeigt überall Hungerpflanzen in voller Blüte; auch hier stehen die Pflanzen mit Leitungswasser besser. Tri. und Ob. stehen etwa gleichschön, Ap. ist zurück; beim Mono zeigen die sauren N-Dünger Schädigungen. Krank ist Ammoniumchlorid; Ammoniumsulfat und Ammoniumnitrat scheinen gleichfalls unter saurer Reaktion zu leiden. Besonders schön stehen Kalziumnitrat (dunkel) und Natriumnitrat (hell), welche Knospen und teilweise schon Blüten zeigen. Kaliumsulfat ist in der Entwicklung zurück und von hellerer Farbe. Die mit Leitungswasser begossenen Pflanzen sind alle voraus. Tri. steht hier besser als Ob., hat schon Knospen. Ap. ist deutlich zurück, Mono steht sehr schön, aber meist ohne Knospen.

Mais. Ungedüngt, ohne Phosphorsäure, Ap., Tri. b und Ob. b sind typische Kümmerlinge (plantes limites). Tri. steht auch mit alkalischen N-Salzen ohne Kalk gut. Ob. nur mit sauren. Ammoniumchlorid wirkt hier nicht so schlecht wie beim Senf, etwa wie die alkalischen N-Dünger. Mono. b steht sehr gut, a ist von besonderer Färbung, hellgrün—gelb, aber gesund. Ammoniumsulfat a und b stehen etwa gleichschön. Ammoniumchlorid fällt ab, besonders b, Ammoniumnitrat steht recht gut, die alkalischen N-Dünger haben alle Tendenz zum Welken hervorgerufen, trotz bester Wasserversorgung, die Pflanzen haben dunkelgrüne, lappige und leicht zusammenklatschende Blätter.

3. August. Senf. Tri. und Ob. stehen im allgemeinen etwa gleich, nur Ammoniumsulfat bei Ob. ist niedriger als bei Tri., und die Kaliumsulfatpflanzen sind bei Ob. ganz zurück. Bei Ap. ist alles zurück. K_2SO_4 steht ganz schlecht. Von den Pflanzen ohne Phosphorsäure scheint Nr. 124 von einer Katze oder auf anderem Wege eine Phosphorsäuredüngung erhalten zu haben, wenigstens schießt diese Nummer im Verhältnis zu den anderen kolossal in die Höhe.

Mais. Nichts wesentlich Neues zu bemerken. Vielleicht wirkt Ob. a überall ein wenig, auch bei nichtsaurer Nebendüngung.

Alle mit Leitungswasser begossenen Senfpflanzen sind im allgemeinen den mit Regenwasser begossenen voran. So hat die Gruppe ohne Phosphorsäure schon Blüten, es folgt Tri. mit vorgeschrittenen Knospen, dann Mono. Ob. zeigt eben beginnende Knospenbildung, Ap. zeigt keine Knospen.

14. August. Mais. Ungedüngt und ohne Phosphorsäure plus Ammoniumsulfat stehen, wenn auch kümmerlich, doch besser als die anderen mit Stickstoff gedüngten ohne Phosphorsäure; ebenso stehen bei

den Apatiten die Pflanzen ohne N besser als mit N, und bei Tri. und Ob. ohne N besser als mit N plus Kalk.

17. August. Senf. Tri. und Ob. zeigen bei Begießen mit Regenwasser kaum einen Unterschied. Bei Leitungswasser ist Tri. zeitlich voraus.

19. August. Sehr deutlich ist der besondere Senfhabitustypus bei Ammoniumchloriddüngung zu sehen; dieser wird an anderer Stelle ausführlich beschrieben werden. Er tritt nicht auf bei den Pflanzen, die ohne Phosphorsäure blieben, also gar nicht bei 129 und 132 und wenig bei 127, 128, 130 und 131. Sehr stark ist die Ammoniumchloridwirkung bei Tri., noch stärker bei Mono, weniger bei Ap. und Ob. Bei den mit Leitungswasser begossenen Pflanzen ist die Wirkung sehr stark bei Tri., deutlich bei Ob., Mono. und Ap., also Kalk schwächt die Chlorwirkung ab sowohl als Kreide gegeben wie als $CaH_2(CO_3)_2$ im Leitungswasser dargeboten.

30. August. Senf. Mit Leitungswasser begossen: Ohne P_2O_5 abgeblüht, bräunlich, dünn, hoch aufgeschossen, kümmerlich. Tri. zeigt volle Blüte, zurück sind 174, 192. Ob. zeitlich sehr zurück hinter Tri., zeigt erst beginnende Knospen, steht im übrigen gesund und schön grün. Ap. ganz zurück und zwar nicht nur zeitlich, sondern mit allgemein schwächerem Stand und schon beginnender Bräunung, die als ein Anzeichen des Wachstumsabschlusses anzusehen ist. Mono. zeitlich noch weiter voraus als Tri., die sauer gedüngten ohne Kalk sind schwächer im Stande.

Mit Regenwasser begossen: Ohne P_2O_5: bräunlich, ganz kindlich, ohne Knospen; Tri. und Ob. im allgemeinen etwa gleich, a überall weiter wie b, aber nicht schönere Knospen resp. Blüten tragend. Eine Ausnahme machen Nr. 226 und 227, die ganz schlecht stehen. Ap. ist nicht nur zeitlich zurück, sondern zeigt allgemein schwächeres Wachstum, wenn auch hier eine deutliche Phosphorsäurewirkung nicht zu übersehen ist, im Vergleich zu den Pflanzen, die keine Phosphorsäure erhielten.

Mais: Ohne Phosphorsäure: Mit saurer Nebendüngung etwas besserer Stand, freilich gelb, aber gesund; ganz schlecht stehen Natriumnitrat und Kaliumsulfat, besonders b; ebenso wie letzteres steht Ap., auch hier sind die sauren etwas besser, doch durchgängig schlechter als die Pflanzen ohne Phosphorsäure bei saurer Nebendüngung. Tri.: a steht gut, doch zeigt sich lebhafte Braunfärbung; Blüte; b steht wie ohne Phosphorsäure; Ob. ohne N: a blüht, ist aber ganz klein und gelb. Ob. mit Ammoniumsulfat steht recht gut, beinahe wie Tri., bei Ammoniumchlorid- und Ammoniumnitratnebendüngung ist auch eine kleine Phosphorsäurewirkung zu bemerken, alle b Pflanzen stehen ganz schlecht, ebenso wie Ap. Mono.: Alle Pflanzen blühen, beginnende Rotbraunfärbung. Ohne N. a und b stehen etwa so wie Tri. und Ob. a; mit Kaliumsulfatdüngung und Ammoniumchlorid sind sie verhältnismäßig etwas weniger braun.

14. September. Senfernte. Vorher photographiert. Tri. und Ob.: Alle blühen, viele zeigen schon Fruchtansatz, 226 ist gesund, aber ohne Blüte, 227 ist plötzlich in voller Blüte erkrankt und teilweise eingegangen. Ap.: Meist Knospen mit wenig Blüten; einige sind in

ähnlicher Weise erkrankt wie 227, d. h. die Blätter werden zuerst braun, dann trocknen sie ab und zuletzt stirbt die Pflanze ab wie verdorrt. Mono.: Durchgängig Früchte.

Es zeigte sich im Verlauf des Versuches ein tierischer Schädling, der besonders junge oder zarte Pflanzen etwa 3—8 cm über der Bodenoberfläche glatt abschnitt, und zwar systematisch täglich eine bis zwei Pflanzen in einem Topfe. Es schien sich also um einen Schädling zu handeln, der das betreffende Gefäß bewohnte. Auch fanden sich die abgeschnittenen Pflanzenteile nachher teilweise in den Boden hereingezogen. Es ließen sich aber in den nachher geleerten Gefäßen keine Lebewesen nachweisen. Durch solche Blattschneider wurden die Nr. 119, 145 und 148 fast vollständig zerstört. Stark gelitten hatten Nr. 314, 135, 303, 310. Ohne N.: Alle sind abgeblüht, es gibt viel Früchte und kaum noch Blätter.

1. Oktober. Mais: Es wurden die in verschiedenen Gefäßen ausgegangenen Pflanzenexemplare eingesammelt und nachher zu der Trockengewichtsbestimmung des betreffenden Gefäßes hinzugefügt.

13. Oktober. Maisernte: Alle Pflanzen blühen und haben Kolben. Auch die Kümmerlinge ohne Phosphorsäure und ohne N. sind blühend und relativ gesund. Nur die mit Ap. gedüngten Pflanzen sind eingegangen (s. Tabelle 9 u. 10 und Phot. 1 u. 2).

3. Wirkung von Trikalziumphosphat auf verschiedene Pflanzen bei Gegenwart steigender Kalkmengen.

Boden: 6,5 kg Quarzsand, der etwa 4 g kohlensauren Kalk enthält. Bei jedem Versuch wurde der Sand in je drei Gefäßen durch Neutralisation mit der berechneten Menge Salzsäure und nachherigem Auswaschen vollständig von Kalk befreit.

Gefäße: Zinkgefäße, die von innen mit Paraffin ausgegossen sind, Oberfläche: 314 cm^2.

Wasserversorgung: Begießen mit Regenwasser bis zu 60 % der wasserhaltenden Kraft des Sandes.

Grunddüngung: 2,15 g KNO_3, entsprechend 1 g K_2O und 0,298 g N. Der übrige Teil der Stickstoffdüngung wurde in Form von einer aus äquimolekularen Mengen von $NaNO_3$ und $(NH_4)_2SO_4$ hergestellten Lösung den Pflanzen als Kopfdüngung gegeben. Es wurde vorausgesetzt, daß bei dieser Form der Stickstoffdüngung die Reaktion der Bodenlösung neutral erhalten bleiben würde. Außerdem erhielt jedes Gefäß 0,2 g Magnesiumsulfat und 0,02 g Eisenchlorid als Kopfdüngung.

Differenzdüngung: 0,6 g P_2O_5 in Form von 1,4568 g Trikalziumphosphat (41,2 %) und dazu wechselnde Mengen von kohlensaurem Kalk nämlich 1 g resp. 3 g, 10 g und 30 g oder 3 g Gips.

Pflanzen: Roggen, Mais, Wicken, Senf.

Roggen.

18. Mai. Gesät 1,2 g Roggen pro Gefäß = ca. 37 Körner.
20. Mai. Es erscheinen die ersten Roggenspitzen.

23. Mai. Die ungedüngten Gefäße bleiben deutlich hinter den gedüngten zurück.

5. Juni. Erste Stickstoffkopfdüngung 50 ccm einer Lösung von Ammoniumsulfat und Natriumnitrat, entsprechend 0,351 g Stickstoff.

6. Juni. Es zeigen sich die ersten Unterschiede, dieselben sind aber sehr gering, die ungedüngten Pflanzen stehen etwas schlechter als diejenigen, die Stickstoff und Kali ohne Phosphorsäure erhalten haben; von einer Wirkung des Trikalziumphosphats ist kaum etwas zu bemerken, alle Gefäße scheinen unter Phosphorsäuremangel zu leiden.

9. Juni. Trikalziumphosphat im entkalkten Sande beginnt zu wirken. Die Pflanzen zeigen grünere Färbung.

22. Juni. Nach wie vor ist nirgends eine Phosphorsäurewirkung zu sehen, außer bei den Pflanzen in entkalktem Sande, welche grün und in voller Kraft dastehen, alle übrigen Gruppen zeigen typischen Phosphorsäuremangel.

28. Juni. Zweite Stickstoffkopfdüngung (wie am 5. Juni) den Gefäßen Nr. 31, 32, 33, d. h den im entkalkten Sande wachsenden Pflanzen.

11. Juli. Da wir es bei den Roggenpflanzen mit einer Wintersorte zu tun haben, so tritt jetzt nach anfänglicher reicher Bestockung ein Stillstand im Wachstum ein, einzelne Blätter sterben ab, die drei zuerst so üppig dastehenden Gefäße Nr. 31, 32, 33 scheinen jetzt auch ihr Wachstum eingestellt zu haben.

14. Juli. Da das Wachstum im allgemeinen zum Stillstand gekommen ist, so erfolgt eine frühzeitige Ernte, auch bei den Gefäßen 31, 32 und 33 ist keinerlei Ansatz zur Ährenbildung zu bemerken.

Ernteresultat und Ascheanalysen siehe Tabelle 11.

Mais.

18. Mai. Gesteckt 6 Korn Mais.

22. Mai. Anfgang.

5. Juni. Die ungedüngten Pflanzen sind in ihrer Entwicklung beträchtlich hinter denjenigen ohne Phosphorsäure resp. den mit Trikalziumphosphat gedüngten zurückgeblieben. Von einer Phosphorsäurewirkung ist fürs erste kaum etwas zu bemerken. Erste Stickstoffkopfdüngung wie bei Roggen (siehe oben).

9. Juni. Das in entkalktem Sande gegebene Trikalziumphosphat beginnt zu wirken.

22. Juni. Alle Gruppen, außer der in entkalktem Sande, zeigen durch Rotwerden der Blätter (Antocyanbildung) Phosphorsäuremangel.

28. Juni. Zweite Stickstoffkopfdüngung wie am 5. Juni. Diesmal aber nur den drei mit entkalktem Sande gefüllten Gefäßen Nr. 60, 61, 62.

4. Juli. Die im entkalkten Sande wachsenden Pflanzen stehen überaus kräftig da. Bei allen übrigen ist von einer Phosphorsäurewirkung des Trikalziumphosphats überhaupt nichts zu bemerken.

24. Juli. Sämtliche Mangel an P_2O_5 zeigenden Pflanzen haben ihr

Wachstum gänzlich eingestellt, die oberen Blätter entwickeln sich nur noch auf Kosten der absterbenden unteren. Die Gefäße Nr. 60, 61, 62 zeigen die ersten männlichen Blüten, vereinzelt treten solche auch bei den Phosphorsäuremangel zeigenden Pflänzchen auf.

31. Juli. Es erscheinen die weiblichen Blüten.

3. August. Nr. 60, 61, 62 erhalten die dritte Stickstoffkopfdüngung, insgesamt haben sie jetzt 1,351 g Stickstoff erhalten.

16. August. Auch die im Verhältnis zu den übrigen Gruppen sehr viel stärker entwickelten Pflanzen Nr. 60, 61, 62 beginnen jetzt durch Antocyanbildung Phosphorsäuremangel anzuzeigen.

17. August. Da die an Phosphorsäuremangel leidenden Pflanzen keinerlei weitere Wachstumsentwicklung mehr zeigen und der größte Teil von ihnen entweder schon abgestorben oder im Absterben ist, so wurde der größte Teil der Gefäße abgeerntet. Zur Kontrolle blieben nur vereinzelte Gefäße stehen, die Pflanzen in Nr. 60, 61, 62 wurden weiter wachsen gelassen.

22. August. Auch 60, 61, 62 haben jetzt ihr Wachstum eingestellt, die Blätter beginnen zu trocknen und abzusterben. Die Kolben entwickeln sich nur langsam.

20. September. Wahrscheinlich aus Phosphorsäuremangel schreitet die Ausbildung der Kolben und Körner in den Gefäßen 60, 61, 62 nicht vorwärts.

27. September. Ernte.

Ernteresultat und Ascheanalysen siehe Tabelle 12.

Wicken.

18. Mai. Gesät 1,05 g Wicken = zirka 35 Körner.

20. Mai. Aufgang.

23. Mai. Die Pflanzen stehen sehr ungleichmäßig, wegen der zu festen Lagerung des feinen Quarzsandes werden die Körner durch das Würzelchen leicht herausgehoben und das Pflänzchen vertrocknet ganz.

5. Juni. Erste Stickstoffkopfdüngung wie bei Roggen, siehe oben. Die Pflanzen stehen im allgemeinen sehr schlecht und ungleichmäßig. Von einer Phosphorsäurewirkung ist noch nichts zu sehen.

9. Juni. Die im entkalkten Sande stehenden Pflanzen zeigen erhöhtes Wachstum.

16. Juni. Während bei den kalkfliehenden Halmfrüchten Roggen und Mais, der Gips keine physiologisch saure Wirkung auszuüben imstande war, zeigen die mit Trikalziumphosphat plus Gips gedüngten Wicken stärkeres Wachstum, ebenso ist die mit Trikalziumphosphat gedüngte in unverändertem nicht entkalktem Sande wachsende Gruppe, Nr. 89, 90, 91, die jedoch keine extra Kalkgabe erhalten hatte, scheinbar imstande, etwas Nutzen aus dem Trikalziumphosphat zu ziehen, während Roggen und Mais der entsprechenden Gruppen das Trikalziumphosphat in keiner Weise ausnutzen konnten. Übrigens scheint den Wicken die Stickstoffkopfdüngung geschadet zu haben. Die Pflanzen zeigen Neigung zur Ent-

färbung resp. zum Gelbwerden, sind fadendünn und zeigen einen durchgängig schlechten Stand.

28. Juni. Die Gefäße Nr. 89, 90, 91 bekommen die zweite Stickstoffkopfdüngung wie bei Roggen (s. oben). Die Pflanzen beginnen sich im allgemeinen zu erholen.

4. Juli. Der Abstand von den entkalkten Gefäßen 89, 90, 91 zu den im unveränderten Sande stehenden Pflanzen ist ein sehr großer. Die folgenden Gruppen, bei welchen durch Zugabe von kleinen Kalkmengen eine langsame Steigerung des Kalkgehalts herbeigeführt worden war, zeigen mit diesem steigenden Kalkgehalt eine langsam zunehmende, aber deutliche Depression. Diejenigen Wicken, die im unveränderten Sande plus Gips standen, haben aus dem ihnen gebotenen Trikalziumphosphat mehr Nutzen ziehen können als bei Abwesenheit von Gips. Der Gips wirkte also bei der kalkliebenden Wicke im Gegensatz zu Roggen und Mais, deren Kalkverbrauch ein sehr bescheidener ist, physiologisch sauer.

18. Juli. Es zeigen sich vereinzelte Blüten. Im allgemeinen ist der Stand der Pflanzen, der von vornherein schlecht und ungleichmäßig war, jetzt auch noch durch das Auftreten von Blattläusen schwer, und zwar nicht in gleichmäßiger Weise geschädigt.

2. August. Ernte. (Siehe Tabelle 13.)

Senf.

18. Mai. Gesät 1 g Senf.

20. Mai. Anfgang.

23. Mai. Die ungedüngten Pflanzen bleiben hinter den gedüngten zurück.

27. Mai. Die Gefäße ohne Phosphorsäure bleiben etwas hinter den mit Trikalziumphosphat gedüngten zurück.

28. Mai. Die entkalkten Gefäße Nr. 118, 119, 120 stehen nicht besser als die ohne Phosphorsäure, doch beruht das wahrscheinlich nicht auf Phosphorsäuremangel, sondern auf einer physiologischen Schädigung unter der Wirkung von Kalkmangel und vielleicht leicht saurer Reaktion. Mit steigendem Kalkgehalt tritt hier im Gegensatz zu Roggen und Mais eine Verbesserung des Pflanzenstandes auf, besonders schön stehen die Gefäße mit Gips.

5. Juni. Erste Stickstoffkopfdüngung wie beim Roggen (s. oben).

6. Juni. Immer noch stehen die Pflanzen im entkalkten Sande schlechter als diejenigen, die Kalk erhalten haben. Zwischen den geringeren und höheren Kalkmengen sind keine wesentlichen Unterschiede zu erkennen. Die Gefäße mit Gips stehen nach wie vor am besten.

28. Juni. Zweite Stickstoffkopfdüngung, und zwar bekommen beim Senf in Berücksichtigung des Umstandes, daß das Trikalziumphosphat hier auch bei den hohen Kalkmengen gut gewirkt hat, sämtliche Gefäße, auch die ohne Phosphorsäure, die ihr Wachstum gleichfalls eingestellt haben, diese zweite Stickstoffgabe. Übrigens zeigen sich bei sämtlichen Gruppen Schädigungserscheinungen. Während die Senfpflanzen bis dahin ein

kräftiges und gesundes Wachstum und Aussehen zeigten, beginnen die Blätter jetzt gelb und bräunlich zu werden und abzusterben. Blütenbildung erfolgt nur ganz vereinzelt.

13. Juli. Vorzeitige Ernte infolge Erkrankung sämtlicher Pflanzen. Es scheint, als träte bei einem gewissen Zeitpunkt des Wachstums allgemein eine physiologische Schädigung ein, von diesem Augenblicke an wächst die Pflanze nicht mehr, wird rot, dann trocken, und die Blüten verkümmern. Phosphorsäuremangel kann hier nicht die Veranlassung sein, es muß sich hier wahrscheinlich um eine Änderung der physiologischen Reaktion handeln. (Siehe Tabelle 14.)

Hafer und Buchweizen.

Boden, Gefäße und Wasserversorgung wie bei Mais, Roggen und Senf.

Grunddüngung: 2,15 g KNO_3, entsprechend 1 g K_2O und 0,298 g N. Der übrige Teil der Stickstoffdüngung wurde wie bei den vorhin beschriebenen Versuchen in Form einer Lösung von Natriumnitrat und Ammoniumsulfat gegeben.

Differenzdüngung: 0,6 g P_2O_5 in Form von 1,4563 g Trikalziumphosphat (41,2 %) und dazu wechselnde Mengen von Kalk, und zwar 0,4402 resp. 0,8804, 2,201, 3,9618, 8,804, 30, 100, 300 g $CaCO_3$, entsprechend: 1, 2, 5, 9, 20, 75, 225, 675 Molekülen kohlensaurem Kalk auf ein Molekül Trikalziumphosphat; außerdem wurde einmal die Wirkung von 3,7863 g Gips (entsprechend 5 Mol. CaO auf 1 Mol. Trikalziumphosphat) auf Trikalziumphosphat in entkalktem und in unverändertem, d. h. 4,16 g CaCO (entsprechend 14 Mol. CaO auf 1 Mol. Trikalziumphosphat) enthaltenden Sand geprüft. Einzelne Parallelgefäße erhielten außerdem noch 2 g Magnesiumsulfat.

Hafer.

16. August. Gesät 1,25 g Hafer.

20. August. Aufgang.

21. August. Sehr gleichmäßiger Stand der Keimlinge.

24. August. Die ungedüngte Gruppe steht schwächer.

27. August. Keine wesentlichen Unterschiede.

31. August. Das Trikalziumphosphat bei vollständiger Kalkabwesenheit hat etwas gewirkt, die übrigen Gefäße mit Trikalziumphosphat plus steigenden Kalkmengen zeigen keine Unterschiede unter sich und sind im Stand nur wenig denjenigen ohne Phosphorsäure überlegen.

1. September. Erste Stickstoffdüngung: 0,35 g Stickstoff in einer Mischung von Amoniumsulfat und Natriumsulfat wie beim Roggen, siehe oben.

5. September. Vorerst ist nur bei den ganz entkalkten Töpfen Nr. 238, 239 und 240 eine Phosphorsäurewirkung zu konstatieren.

14. September. Jetzt tritt auch bei Gegenwart von 0,44 g $CaCO_3$, entsprechend 1 Molekül Kalk, die Trikalziumphosphatwirkung deutlich hervor, etwas auch noch bei Gegenwart der doppelten Kalkmenge, d. h. bei 2 Molekülen Kalk auf 1 Molekül Trikalziumphosphat. Bei den Ge-

fäßen mit noch höher steigender Kalkmenge ist keinerlei Wirkung von Trikalziumphosphat zu bemerken. Bei den ganz entkalkten Gefäßen plus Gips scheint eine leichte Säureschädigung aufgetreten zu sein.

27. September. Die Gefäße mit Trikalziumphosphat ohne Kalk, resp. und 2 Molekülen Kalk erhalten die zweite Stickstoffkopfdüngung. Der Hafer ist schwer von Rost befallen.

29. September. Vorzeitige Ernte wegen der schweren Rosterkrankung, die die Düngungsunterschiede aufzuheben und alles zu zerstören drohte. (Siehe Tabelle 15.)

Buchweizen.

16. August. Gesät 0,75 g Buchweizen.

20. August. Aufgang.

22. August. Die ungedüngten Pflanzen stehen schwächer.

27. August. Außer bei der ungedüngten Gruppe, die viel schwächer steht, sind noch keine wesentlichen Unterschiede zu bemerken.

29. August. Die Wirkung des Trikalziumphosphats ist jetzt deutlich gegenüber den ohne Phosphorsäure wachsenden Pflanzen zu sehen. Steigende Kalkmengen rufen fürs erste noch keine Depression hervor. Besonders schön stehen die Gefäße, die außer Trikalziumphosphat noch Gips erhielten. Sie sind nicht nur dunkler und kräftiger, sondern auch höher als die Pflanzen, die kohlensauren Kalk erhielten.

1. September. Erste N-Kopfdüngung.

2. September. Die Pflanzen, welche die größten Kalkmengen bekommen haben, zeigen Gelbwerden des dritten Blattpaares.

5. September. Keine wesentlichen Verschiebungen gegenüber den Beobachtungen vom 2. September. Die allerhöchsten Kalkmengen, nämlich 100 resp. 300 g pro Gefäß, rufen jetzt deutliche Schädigungen hervor.

14. September. Es ist jetzt deutlich der langsame gleichmäßige Abfall des Pflanzenstandes bei steigendem Kalkgehalt zu konstatieren.

27. September. Zweite Stickstoffkopfdüngung, welche alle Pflanzen erhalten außer den ungedüngten, den ohne Phosphorsäure und denen mit den sehr hohen Kalkmengen, nämlich mit 20, 75, 225 und 675 Molekülen Kalk auf 1 Molekül Trikalziumphosphat.

28. September. Der Buchweizen in gänzlich kalkfreiem Sande beginnt zu kränkeln, er zeigt gerollte, leicht braun gefleckte Blätter.

29. September. Alle Gefäße außer den ungedüngten erhalten eine leichte Eisenchloridkopfdüngung, und zwar im Betrage von 0,048 g je Gefäß.

3. Oktober. Der Buchweizen zeigt ähnliche Erkrankungserscheinungen, wie dies beim analogen Senfversuch zu bemerken war. Auch hier wird die Blattstellung unnormal, es erscheinen rote, später trocken werdende Flecken. Das Wachstum ist eingestellt.

16. Oktober. Ernte. Sämtliche Gefäße mit Trikalziumphosphat zeigen eine deutliche mit steigendem Kalkgehalt nur langsam abnehmende Phosphorsäurewirkung. Nur die Gefäße mit den extrem hohen Kalkmengen (100 resp. 300 g) bleiben im Ertrage deutlich zurück. Die Pflänzchen sehen aber keinesfalls phosphorsäurearm aus, sie sind im Gegenteil noc

verhältnismäßig grün und gesund, nur erscheinen sie durch Zurückbleiben im Wachstum beträchtlich jugendlicher als die anderen. (Siehe Tabelle 16.)

4. Anordnung des Lupinenversuches.

Boden. 3 kg nährstoffarmer diluvialer Lehmboden aus Hohenheim (P_2O_5 Gehalt mit H_2SO_4 aufgeschlossen 0,09 %, in 10 % HCl löslich 0,02 %; $CaCO_3$ Gehalt 0,4 %). Dazu 3 kg feiner Quarzsand (CaO Gehalt = 0,064 %).

Gefäße: Viereckige Emaillegefäße mit Ventilationsröhren. Oberfläche 300 cm².

Wasserversorgung: Regenwasser und zwar 60 % der wasserhaltenden Kraft des Bodengemisches.

Grunddüngung: 1 g K_2SO_4, 1 g KCl, 1 g $MgSO_4$, 0,5 g N, einmalig als Kopfdüngung in Form von NH_4NO_3.

Differenzdüngung: 0,6 g P_2O_5 in Form von 1,484 $Ca_3(PO_4)_2$ (40,43 %),
0,6 g „ „ „ 2,751 Na_2HPO_4 (22,1 %),
0,6 g „ „ „ 2,106 $Fe_3(PO_4)_2$ (28,49 %),
0,6 g „ „ „ freier H_3PO_4.

Die freie Phosphorsäure wurde nicht einmalig zugegeben, sondern allmählich zu etwa 0,05 g jedesmal. Alle diese Düngungen entweder ohne Kalkzugabe, resp. mit 5 oder 20 g $CaCO_3$ oder 10 g $CaSO_4$.

3. Mai. Gesteckt je 11 Körner der gelben Lupine.

10. Mai. Aufgang.

14. Mai. Auf 5 Pflanzen vereinzelt, wo nötig zugesät, wobei es sich erwies, daß die Gruppe ungedüngt mit 61 % gekeimt hatte, ohne P_2O_5 mit 57; $Ca_3(PO_4)_2$ mit 64; $Fe_3(PO_4)$ mit 63; Na_2HPO_4 mit 61 %.

19. Mai. Einzelne ausgerissene Pflänzchen zeigten eine braungewordene Hauptwurzel ohne Wurzelhaare. Es schienen die Knöllchenbakterien zu fehlen. Es wurde deshalb von einem ungedüngten Hohenheimer Lupinenfeld ein Bodenaufguß gemacht und jeder Topf erhielt je 50 cm eines Aufgußes von je 100 g Boden.

19. Mai. Erste Erkrankungserscheinungen zu beobachten und zwar bei allen Gefäßen, die 20 g Kalk enthielten, wobei die ungedüngten Nr. 5 und 6 am stärksten erkrankt sind, es folgen 21 und 22 mit Trikalziumphosphat, 37 und 38 mit Na-Phosphat, die anderen Gruppen mit 20 g $CaCO_3$ zeigen diese Gelbfärbung in nur geringem Grade.

23. Mai. Zahl der Pflanzen nochmals auf 5 in jedem Topfe vereinzelt. Beim Vereinzeln zeigte es sich, daß alle Pflanzen nahe der Bodenoberfläche einen gesunden Kranz von weißen Seitenwurzeln und Haaren angesetzt hatten, während der untere Wurzelteil braun und scheinbar absterbend war.

Erste Kopfdüngung mit freier H_3PO_4; es werden jemalig 0,05 g P_2O_5 in 50 ccm Wasser zugesetzt, und zwar am 23. Mai, 27. Mai, 31. Mai, 9. Juni, 14. Juni, 16. Juni, 18. Juni, 22. Juni, 28. Juni, 11. Juli, 21. Juli, 28. Juli.

1. Juni. N-Kopfdüngung, und zwar 50 ccm einer NH_4NO_3-Lösung, enthaltend 0,05 g N.

9. Juni. Eine Phosphorsäurewirkung ist fürs erste nirgends zu sehen; überhaupt stehen alle Pflanzen verhältnismäßig gleichgut, außer den beiden ungedüngten Gefäßen mit der hohen Kalkmenge, welche deutliche Erkrankungserscheinungen aufweisen, nämlich Gelb- und Fleckigwerden der Blätter und starkes Zurückbleiben im Wachstum.

15. Juni. Auch jetzt ist von einer P_2O_5-Wirkung und überhaupt von einer Düngerwirkung nicht viel zu sehen, da z. B. die ungedüngten Gefäße ohne Kalk mit am schönsten stehen. Deutlich sind nur die Kalkschädigungen zu sehen, und zwar äußern sie sich dort, wo sie gering sind, nur in reizbarem Zukneifen der Blätter und geringerer Entwicklung; später erst zeigen sie sich durch Gelb- und Rotfleckigwerden der Blätter.

6. Juli. Auch eben noch ist in den verschiedenen Töpfen ohne Kalk keine deutliche P_2O_5-Wirkung als Nährstoff zu sehen, wohl aber neben K_2O eine entschiedene Wirkung bei der Bekämpfung der Kalkfeindlichkeit der Pflanzen in den Gefäßen, die größere oder kleinere Mengen von Kalk erhalten hatten. Die ungedüngten Pflanzen sind demzufolge durch Kalkzugabe am schwersten erkrankt, es folgen diejenigen ohne Phosphorsäure, sehr schwer ist auch die Erkrankung bei den mit Trikalziumphosphat gedüngten Pflanzen, besser stehen die Gefäße mit Natriumphosphat und Ferrophosphat; die Pflanzen mit freier Phosphorsäure erholen sich immer mehr von der auch dort anfänglich aufgetretenen Kalkfeindlichkeit.

11. Juli. Seit einigen Tagen ist an der Färbung der Blätter deutlich die Wirkung der Phosphorsäuredüngung zu erkennen, und zwar zeigen die Pflanzen, welche unter Phosphorsäuremangel leiden, ein dunkles Blaugrün und die mit Phosphorsäure genügend ernährten Pflanzen ein helles Lichtgrün. Dunkel sind demzufolge die ungedüngten Pflanzen und die ohne Phosphorsäure. Es folgen die Pflanzen, die Natriumphosphat und Trikalziumphosphat erhalten haben. Am lichtesten grün sind die mit Ferrophosphat und besonders mit freier Phosphorsäure gedüngten Pflanzen. Auch alle durch Kalk erkrankten Pflanzen zeigen dieses dunkle Grün, außer natürlich den schwergeschädigten, die gelbrot sind.

15. Juli. Beginn der Knospenbildung.

18. Juli. Blüten.

2. August. Ernte. Die meisten Pflanzen tragen Schoten. Während des ganzen Versuches ließ sich beobachten, daß die Kalkschädigungen in den einzelnen Gefäßen beständigen Schwankungen unterworfen waren. Die Pflanzen in einem Gefäß, die mehrere Tage krank waren, gesundeten plötzlich wieder, auch einige Gruppen mit Gips und einige mit Trikalziumphosphat ohne Kalk sind vorübergehend erkrankt. Im allgemeinen war aber ein deutliches Ansteigen im Habitus und Stand sämtlicher parallelen Gruppen von Nr. 1—50 zu sehen (siehe Tabelle 17 und Abbildung 3).

5. Wirkung von Aluminium, Eisen- und Magnesiumphosphat in verschiedener Form auf verschiedene Pflanzen.

Boden: 6,5 kg Quarzsand, der etwa 4 g kohlensauren Kalk enthält.

Gefäße: Zinkgefäße, die von innen mit Paraffin ausgegossen sind. Oberfläche 314 cm^2.

Wasserversorgung: Begießen mit Regenwasser bis zu 60 % der wasserhaltenden Kraft des Sandes.

Grunddüngung: 2,15 g KNO_3, entsprechend 1 g K_2O und 0,298 g N. Der übrige Teil der Stickstoffdüngung wurde sodann in Form einer aus äquimolekularen Mengen von $NaNO_3$ und $(NH_4)_2SO_4$ hergestellten Lösung den Pflanzen als Kopfdüngung gegeben. Es wurde vorausgesetzt, daß bei dieser Form der Stickstoffdüngung die Reaktion der Bodenlösung neutral erhalten bleiben würde. Außerdem erhielt jedes Gefäß 0,2 g Magnesiumsulfat und 0,02 g Eisenchlorid als Kopfdüngung.

Differenzdüngung: 0,6 g P_2O_5 in verschiedener Form:

1. Als Aluminiumphosphat, frisch gefällt, aus einer Lösung von 375 g Aluminiumphosphat zu 250 g Dinatriumphosphat, dazu wurden 590 ccm 8,3 % Ammoniaks zugesetzt. Die Phosphorsäure wird hierbei quantitativ gefällt, der Niederschlag wurde mehrfach dekantiert, dann filtriert. Reaktion neutral. Das so hergestellte Aluminiumphosphat wurde entweder in frisch gefälltem Zustande in Wasser geschwemmt und zugegeben, oder aber es wurde vor der Anwendung bei gewöhnlicher Temperatur getrocknet oder endlich geglüht.

2. Als Eisenphosphat, und zwar wurde dasselbe durch Zusammengeben gleicher Teile von Eisenchlorid und Dinatriumphosphat hergestellt. Die Pharmakopöe schreibt zur Erlangung einer 4 Moleküle Wasser enthaltenden konstanten Verbindung 5 Teile Eisenchlorid zu 8 Teile Natriumphosphat vor. Wir haben jedoch einen Überschuß an Eisenchlorid angewandt, um die Phosphorsäure quantitativ fällen zu können, aus dem gleichen Grunde setzten wir kleine Mengen von Ammoniak hinzu. Das Eisenphosphat, das in reinem Zustande farblos ist, war durch diese Anordnung durch Gegenwart von etwas Fe_2O_3 leicht rötlich gefärbt. Das so hergestellte Eisenphosphat wurde in ähnlicher Weise, wie es vorhin beim Aluminiumphosphat beschrieben wurde, dekantiert und gewaschen und darauf entweder in frisch gefälltem Zustande, in getrocknetem oder in geglühtem zum Versuch verwandt.

3. Als Magnesiumphosphat, hergestellt aus 250 g Dinatriumphosphat plus 425 g Magnesiumsulfat plus 30 g NaOH, wodurch die Phosphorsäure quantitativ gefällt werden konnte. Auch hier wurde frisch gefälltes, getrocknetes oder geglühtes Magnesiumphosphat zum Versuch verwandt.

4. Endlich wurden sowohl Eisenphosphat wie Aluminiumphosphat in Form ihrer natürlich vorkommenden Mineralien verwandt, und zwar als Vivianit (13,2 % P_2O_5), als Wavellit (26,68 %) oder als Wagnerit (26,14 %).

5. Verglichen wurde die Wirkung dieser Phosphate mit Trikalziumphosphat (41,2 %), von welchen in Ammoniumnitrat nach Petermann etwa 2 % löslich waren. Sämtliche Phosphate wurden entweder ohne Kalk oder mit 5 g $CaCO_3$ angewandt.

Versuchspflanzen: Roggen, Mais, Wicken, Senf.

Roggen.

18. Mai. Gesät 1,2 g Roggen (zirka 37 Korn).

20. Mai. Aufgang.

23. Mai. Die ungedüngten Gefäße bleiben deutlich hinter den gedüngten zurück.

5. Juni. Erste Stickstoffdüngung 50 ccm einer Lösung von Ammoniumsulfat und Natriumnitrat, entsprechend 0,351 g N.

6. Juni. Es zeigen sich beträchtliche Unterschiede im Stand der Pflanzen. Das Trikalziumphosphat wirkt noch gar nicht; sehr gut wirken Aluminium- und Magnesiumphosphat mit und ohne Kalk in gefälltem, getrocknetem und geglühtem Zustande. Eine deutliche Wirkung zeigt das Aluminiummineral, während das Magnesiummineral anscheinend wirkungslos bleibt. Das gefällte und getrocknete Eisenphosphat wirkt ebenfalls in hervorragender Weise, während das geglühte Eisenphosphat kaum eine Wirkung hervorgerufen hat; Vivianit dagegen hat deutlich gewirkt.

22. Juni. Es zeigt sich typischer Phosphorsäuremangel bei denjenigen Pflanzen, die ohne Phosphorsäure geblieben sind, sowie bei denjenigen, die Trikalziumphosphat, geglühtes Eisenphosphat oder Wagnerit erhalten haben.

28. Juni. Zweite Stickstoffkopfdüngung wie am 5. Juni. Dieselbe wurde fortgelassen bei den Pflanzen, welche infolge von Phosphorsäuremangel ihr Wachstum eingestellt resp. auf ein Minimum reduziert hatten. Es zeigen sich nach anfänglich üppigem Wachstum die ersten Schädigungserscheinungen von im Sommer gesäter Wintersaat. Der Roggen, der zuerst sehr üppig und besteckt dastand, hat das Tempo seines Wachstums völlig verlangsamt.

4. Juli. Keine größere Verschiebung der am 6. Juni geschilderten Unterschiede von den einzelnen Gruppen. Bloß bleibt die Gruppe mit Wavellit jetzt in ähnlicher Weise zurück wie dies beim geglühten Eisenphosphat und dem Wagnerit beobachtet werden konnte.

14. Juli. Der Roggen wird geerntet, da sämtliche Gruppen ihr Wachstum fast völlig eingestellt haben (s. Tabelle 18).

Mais.

18. Mai. Gesteckt je 6 Korn Mais pro Gefäß.

22. Mai. Aufgang.

6. Juni. Erste Stickstoffkopfdüngung wie bei Roggen. Die ungedüngten Pflanzen bleiben hinter den anderen zurück.

9. Juni. Sämtliche Phosphate, mit Ausnahme des Trikalziumphosphats, des geglühten Eisenphosphats und der natürlichen Mineralien wirken in hervorragender Weise. Die Gegenwart von Kalk bewirkt kaum eine Depression; bei einigen Phosphaten, so besonders beim frisch gefällten Magnesiumphosphat, das vorübergehend kleine Wachstumsschädigungen hervorrief, hat die Zugabe von 5 g Kalk sogar eine Besserung des Pflanzenstandes hervorgerufen.

22. Juni. Die Phosphorsäuremangel leidenden Pflanzen zeigen dies durch Antocyanbildung an.

28. Juni. Zweite Stickstoffkopfdüngung wie oben. Ausgenommen werden die Gefäße ohne Phosphorsäure, mit Trikalziumphosphat, mit geglühtem Eisenphosphat, mit Wavellit und Wagnerit.

4. Juli. Das Magnesiumphosphat wirkt ganz besonders günstig, von der vorhin erwähnten Schädigung ist nichts mehr zu sehen.

11. Juli. Dritte Stickstoffkopfdüngung wie oben, und zwar erhalten dieselbe alle Gefäße mit Magnesiumphosphatdüngung, da dieselben sowohl mit wie ohne Kalk in üppigem Wachstum allen anderen Gruppen weit überlegen sind, scheinbar aber beginnenden Stickstoffmangel anzeigen.

24. Juli. Die Phosphorsäuremangel zeigenden Pflanzen haben ihr Wachstum jetzt völlig eingestellt. Von den natürlichen Mineralien scheint nur Vivianit gewirkt zu haben. Die Wirkung des Magnesiumphosphats steht jetzt weit über derjenigen des Aluminium- und Eisenphosphats. Es zeigen sich die ersten männlichen Blüten.

31. Juli. Es zeigen sich weibliche Blüten.

3. August. Vierte Stickstoffkopfdüngung zu Aluminium-, Eisen- und Magnesiumphosphat, ausgenommen die natürlichen Mineralien und das geglühte Eisenphosphat.

12. August. Es zeigen sich überall die Kolben, welche bei den mit Magnesiumphosphat gedüngten Pflanzen besonders kräftig entwickelt sind.

16. August. Die mit Eisen- und Aluminiumphosphat gedüngten Pflanzen beginnen jetzt durch Antocyanbildung deutlich Phosphorsäuremangel anzuzeigen, während die mit Magnesiumphosphat gedüngten Pflanzen noch in voller Kraft dastehen und scheinbar unbegrenzte Entwicklungsmöglichkeiten vor sich haben. Auch die Kolbenentwicklung ist bei diesen Pflanzen eine weit vorgeschrittenere.

17. August. Es werden einzelne Gefäße geerntet, wo die Pflänzchen infolge von Phosphorsäuremangel abgestorben waren.

19. August. Die Pflanzen mit Magnesiumphosphatdüngung erhalten eine fünfte Stickstoffkopfdüngung, so daß sie jetzt insgesamt 2,053 g Stickstoff erhalten haben.

22. August. Außer den mit Magnesiumphosphat gedüngten Pflanzen haben sämtliche anderen Gruppen ihr Wachstum völlig beendet, sie zeigen teils gelbe resp. rote Blätter, teils beginnen dieselben zu verdorren. Die mit geglühtem Magnesiumphosphat gedüngten Pflanzen sind deutlich schlechter als diejenigen, welche gefälltes resp. getrocknetes Magnesiumphosphat erhielten. In allen Gruppen hat die Zugabe von 5 g Kalk keine dem Auge sichtbare Depression hervorgerufen.

24. August. Letzte Stickstoffkopfdüngung zu Magnesiumphosphat (Gesamt-N-Gabe 2,404 g).

20. September. Noch immer entwickeln sich die mit Magnesiumphosphat gedüngten Pflanzen üppig weiter, besonders schön ist die Kolbenbildung, welche derjenigen in freiem Felde kaum nachsteht.

28. September. Ernte. Anscheinend haben jetzt auch die mit Mag-

nesiumphosphat gedüngten Pflanzen ihr Wachstum fast abgeschlossen. Die Kolben sind teilweise zur Vollreife gelangt, teilweise noch nicht ganz reif. Die mit Aluminiumphosphat und Eisenphosphat gedüngten Pflanzen zeigen meist die Kolben nur in der Anlage, während die Körnerbildung fast völlig ausgeblieben ist (siehe Tabelle 19).

Wicken.

18. Mai. Gesät 1,05 g (zirka 35 Korn) Wicken.

20. Mai. Aufgang.

23. Mai. Sehr ungleichmäßiger Stand infolge zu fester Lagerung des feinen Quarzsandes.

5. Juni. Erste Stickstoffkopfdüngung wie bei Roggen. Die Pflanzen stehen durchgängig schlecht und ungleichmäßig. Von Zeit zu Zeit entfärben sich die Pflanzen in einem Gefäß, besonders in denjenigen, die Kalk erhalten haben. Besonders tritt diese Erscheinung nach jeder Stickstoffkopfdüngung auf, welche die Wicken nicht gut zu vertragen scheinen.

7. Juni. Bei ganz schlechtem Allgemeinstand zeigt sich jetzt die Wirkung der Phosphatdüngung. Das Trikalziumphosphat ist fürs erste noch wirkungslos geblieben; eine gute Wirkung haben das Magnesium-, Aluminium- und auch das Eisenphosphat hervorgerufen, wobei die Gegenwart von Kalk nicht zu schaden scheint. Die natürlichen Mineralien und das geglühte Eisenphosphat haben scheinbar keine Wirkung hervorgerufen.

9. Juni. Auch das Trikalziumphosphat ohne Kalkzugabe scheint jetzt eine kleine Wirkung auszuüben.

28. Juni. Zweite Stickstoffkopfdüngung wie oben, ausgenommen Trikalziumphosphat, geglühtes und getrocknetes Eisenphosphat, Wavellit und Wagnerit und Vivianit.

4. Juli. Die Wirkung des Trikalziumphosphats bleibt nach wie vor eine sehr bescheidene, am stärksten hat bisher das Magnesiumphosphat gewirkt, dann das Aluminiumphosphat, und endlich das Eisenphosphat. Alle in leicht absteigender Wirkung, je nach dem physikalischen Zustande, in dem sie dargeboten wurden, also beginnend mit den gefällten Phosphaten, über die getrockneten herunter zu den geglühten. Zugabe von Kalk scheint die Wirkung der Phosphate gar nicht oder nur schwach beeinflußt zu haben.

18. Juli. Vereinzelte Blütenbildung, ungleichmäßige Schädigung durch Blattläuse.

2. August. Ernte (siehe Tabelle 20).

Senf.

18. Mai. Gesät 1 g Senf.

20. Mai. Aufgang.

23. Mai. Die ungedüngten Pflanzen bleiben hinter den gedüngten zurück.

27. Mai. Deutliche Wirkung der Phosphorsäure zu sehen. Die Gruppen, die Magnesium gefällt und getrocknet erhalten haben, zeigen

Vergiftungserscheinungen, besonders die ersteren mißraten gänzlich. Es scheint leicht alkalische Reaktion aufgetreten zu sein. Doch da bei einem anderen Versuch es sich erwiesen hat, daß der Senf unempfindlich, wenn nicht gar dankbar für alkalische Reaktion ist, so ist es unwahrscheinlich, daß die Reaktion diese Schädigung hervorgerufen hat; es liegt wahrscheinlich eine spezifische Schädigung durch Magnesiumphosphat in besonders wirksamer Form vor.

28. Mai. Es sind deutliche Abstufungen der Phosphatwirkungen zu bemerken, am bescheidensten ist die Trikalziumphosphatwirkung, Aluminium- und Eisenphosphat wirken etwa gleich, und zwar in absteigender Linie, beginnend mit der gefällten Form, sinkend zur getrockneten, dann geglühten Form, und endlich zum natürlichen Mineral. Aus dem Rahmen fällt das geglühte Eisenphosphat, das weniger wirksam ist als Vivianit. Bei Magnesiumphosphat verläuft die Wirkung in umgekehrter Richtung, das gefällte Magnesiumphosphat hat deutliche Vergiftungerscheinungen hervorgerufen, auch bei dem getrockneten sind dieselben noch zu bemerken, während das geglühte Phosphat und das Mineral besser wirken.

5. Juni. Erste Stickstoffdüngung wie oben, mit Ausnahme der ungedüngten Gefäße und derjenigen mit gefälltem und getrocknetem Magnesiumphospat.

9. Juni. Keine wesentliche Verschiebung der am 28. Mai geschilderten Unterschiede.

28. Juni. Zweite Stickstoffkopfdüngung, ausgenommen bleiben Eisenphosphat geglüht, Aluminiummineral, Magnesium gefällt und getrocknet. Der Senf beginnt scheinbar sein Wachstum frühzeitig einzustellen, und zwar tritt dieses besonders deutlich bei den Gruppen auf, die Aluminiumphosphat, dann denjenigen, die Eisenphosphat, und endlich denjenigen, die Trikalziumphosphat erhalten haben. Die Blätter beginnen eine gelbbräunliche Färbung zu zeigen, stellenweise frühzeitig abzusterben, ebenso gelangen die Blüten nicht zur Entwicklung. Die Anwesenheit von Kalk scheint in jeder Hinsicht wirkungslos zu bleiben. Einen merkwürdigen Habitus zeigen die Pflanzen, die gefälltes und in geringerem Maße auch diejenigen, die getrocknetes Magnesiumphospat erhalten haben. Sie sind ganz niedrig und im Wachstum zurückgeblieben. Die Hauptmenge der Pflänzchen ist eingegangen, die noch stehen gebliebenen haben durch eine starke Verkürzung der Internodien eine seltsame Rosettenform angenommen. Gegenwart von Kalk hat bei diesen Gruppen genützt. Die Pflanzen mit geglühtem Magnesiumphosphat stehen eben am schönsten. Sie haben scheinbar ihr Wachstum noch nicht abgeschlossen, wie dies bei den Pflanzen der Fall ist, die Aluminium- oder Eisenphosphat erhalten haben.

13. Juli. Vorzeitige Ernte. Alle Gruppen zeigen braun gewordene Blätter, es scheint sich um eine physiologische Erkrankung zu handeln, nicht aber um Phosphorsäuremangel. Eine Erscheinung ähnlicher Art konnte später bei einem Vegetationsversuch mit Buchweizen bei gleicher Düngung beobachtet werden. (Siehe Tabelle 21.)

Hafer und Buchweizen.

Boden, Gefäße, Wasserversorgung und Grunddüngung wie beim Versuch mit Roggen, Mais, Wicken und Senf.

Als Phosphorsäuredifferenzdüngung wurde Trikalziumphosphat (0,6 g P_2O_5) resp. die gleiche Menge Phosphorsäure in Form von gefälltem und geglühtem Magnesiumphosphat, Wagnerit, Vivianit und Raseneisenerz verwandt. Weitere Gruppen erhielten steigende Mengen von getrocknetem Magnesiumphosphat, und zwar je 0,1 resp. 0,2 oder 0,6 g P_2O_5. Alle diese Phosphate wurden ohne Kalk resp. mit 5 g $CaCO_3$ angewandt.

Hafer.

16. August. Gesät 1,25 g Hafer.

20. August. Sehr gleichmäßiger Aufgang.

24. August. Die ungedüngten Pflanzen stehen schlechter.

31. August. Das Trikalziumphosphat zeigt noch keine Wirkung. Es zeigt sich zuerst eine Wirkung von Magnesiumphosphat.

1. September. Erste Stickstoffkopfdüngung: 0,35 g N in Form äquivalenter Mengen Ammoniumsulfat und Natriumnitrat. Das Trikalziumphosphat ist in keiner Weise zur Wirkung gelangt. Die ungedüngten Pflanzen, die ohne Phosphorsäure und die mit Trikalziumphosphat gedüngten zeigen schon Absterben der Keimblätter.

5. September. Die Wirkung auch der kleinsten Magnesiumphosphatmengen ist eine sehr große im Vergleich zu derjenigen von Wagnerit, von Vivianit, von Raseneisenstein und Trikalziumphosphat.

10. September. Die mit gefälltem und getrocknetem Magnesiumphosphat gedüngten Pflanzen sind allen übrigen Gruppen weit voraus; es folgt das geglühte Magnesiumphosphat, dann die beiden natürlichen Eisenmineralien; ohne Wirkung sind das Trikalziumphosphat und das Wagnerit geblieben.

27. September. Zweite Stickstoffkopfdüngung wie oben. Und zwar erhalten dieselbe die mit Magnesiumphosphat gedüngten Pflanzen und diejenigen, die die natürlichen Eisenphosphate erhielten. Schwerer Rostbefall.

29. September. Es wurde vorzeitig geerntet, weil die Rosterkrankung immer zunahm und die Düngungsunterschiede verwischte. (Siehe Tabelle 22.)

Buchweizen.

16. August. Gesät 0,75 g Buchweizen.

20. August. Aufgang.

22. August. Die ungedüngten Pflanzen bleiben in der Entwicklung zurück. Es zeigt sich eine beginnende Wirkung der Magnesiumphosphatdüngung.

27. August. Die Magnesiumphosphatpflanzen sind denjenigen mit Trikalziumphosphat gedüngten zeitlich etwas voraus. Aber alle Unterschiede sind vorerst noch sehr gering. Nur die ungedüngte Gruppe steht bedeutend schwächer.

29. August. Die Gruppe mit Trikalziumphosphat hebt sich jetzt deutlich von derjenigen ohne Phosphorsäure ab. Zugabe von 5 g Kalk hat anscheinend kaum eine Depression bewirkt. Die Wirkung von Magnesiumphosphat ist bedeutend stärker, gut haben auch Vivianit und Raseneisenstein gewirkt. Auch hier hat die Zugabe von 5 g Kalk anscheinend keine Depression bewirkt.

30. August. Die jungen Pflänzchen werden leider hie und da durch Vogelfraß geschädigt. Die besonders beschädigten Gefäße sind in der Tabelle vermerkt.

1. September. Erste Stickstoffkopfdüngung wie bei Hafer.

5. September. Keine wesentlichen Verschiebungen des Gesamtbildes.

27. September. Zweite Stickstoffkopfdüngung aller Gefäße, mit Ausnahme von Wagnerit.

28. September. Die Pflanzen beginnen zu kränkeln, bekommen gerollte, braungefleckte Blätter, zeigen ähnliche Krankheitserscheinungen, wie sie vorhin beim Versuch mit Senf geschildert wurden.

29. September. Sämtliche Gruppen außer der ungedüngten erhielten eine Eisenchloridkopfdüngung, und zwar je 0,048 g pro Gefäß, um zu konstatieren, ob die Schädigungen nicht durch Eisenmangel hervorgerufen seien.

3. Oktober. Fortschreiten der Erkrankung. Auch hier wie beim analogen Senfversuch anormale Blattstellung, rot — dann trocken — werdende Blätter, scheinbar sistiertes Wachstum.

16. Oktober. Ernte. Den stärksten Stand zeigen die mit Magnesiumphosphat gedüngten Pflanzen, wobei die steigenden Phosphorsäuremengen keine großen Verschiebungen hervorgerufen zu haben scheinen. Es folgen Vivianit und Raseneisenstein, endlich das Trikalziumphosphat. Zugabe von 5 g $CaCO_3$ hat beim Buchweizen scheinbar keine sehr deutliche Herabminderung der Phosphatwirkung hervorgerufen (siehe Tabelle 23 und Abbildung 4 und 5).

III. Teil:

Tabellen.